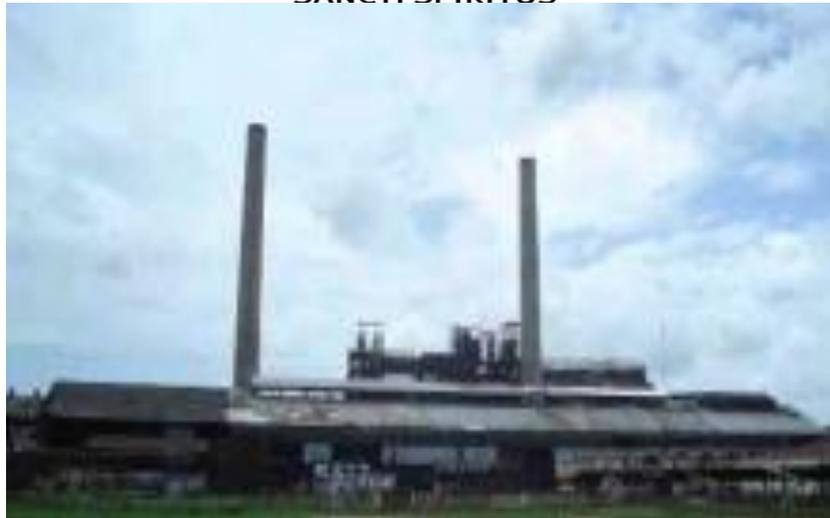


*Universidad de Sancti Spíritus
"José Martí Pérez"
Facultad de Ciencias Técnicas*



*TRABAJO DE DIPLOMA
Ingeniería Industrial*

*Título: Determinación de la ruta factible de aprovisionamiento
para una planta de biogás UEB Central Azucarero Melanio
Hernández.*

Autora: Yaneisy Álvarez Rodríguez

Tutor: MSc. Douglas Adolfo García Gómez

Consultante: MSc. Orestes Hermidas García

*Febrero del 2015
"Año 57 de la Revolución"*

“...Nosotros no estamos esperando que aparezca mucho petróleo, porque hemos descubierto, afortunadamente, algo mucho más importante, la utilización de energías renovables, que es como encontrar un gran yacimiento”.

Fidel Castro Ruz



Pensamiento

*A todos los que escuchan el llamado de la
naturaleza y se acercan a este trabajo para
continuar...*

Dedicatoria

A mis padres, que son merecedores de todos mis esfuerzos y resultados a lo largo de mi vida.

A mi hija, por ser la fuente de inspiración en mi vida y brindarme su amor, su paciencia y ternura en todo momento.

A mi tutor Douglas, por su excelente trabajo su infinita paciencia y su ayuda incondicional.

A los trabajadores de Radiocuba y en especial a mis compañeros de trabajo, que me han acogido y ayudado en este momento final tan importante de mi carrera.

A mis compañeros y amigos, que han enfrentado y compartido conmigo momentos buenos y malos a lo largo de estos años.

A mis maestros y profesores por dar lo mejor de sí y prepararme para la vida.

A todos aquellos que han sido responsables de una forma u otra de que se haga realidad uno de mis grandes sueños.

GRACIAS

Resumen

El presente trabajo se desarrolla en la UEB Central Azucarero Melanio Hernández. La realización del mismo estuvo motivada por la necesidad de utilizar políticas de aprovisionamiento para aumentar la eficacia en la explotación de plantas de biogás. Durante la investigación se construye el marco teórico referencial centrado en la revisión y análisis de la bibliografía sobre la producción de biogás y la gestión del transporte. Se selecciona como instrumento de carácter metodológico un procedimiento general para la optimización de la ruta de aprovisionamiento para la planta de biogás objeto de estudio, compuesto por cinco fases: la conformación del equipo de trabajo y selección de los expertos, determinación de la demanda de la planta, determinación de los proveedores y su ubicación geográfica, recogida de la información y cálculo de la ruta, implementación y control de la ruta. Basado en un enfoque diferente de análisis, que no excluya lo que actualmente se hace, sino que lo complemente. A partir del mismo se diseña e implementa la ruta factible para el suministro de sustratos necesarios. Además se establecen conclusiones que corroboran los objetivos de la investigación.

Summary

The present work is developed in the Sugar Central UEB Melanio Hernández. The realization of the same one was motivated by the necessity of using political good of provisioning to increase the effectiveness in the exploitation of biogás plants. During the investigation the mark theoretical referential was built centered in the revision and analysis of the bibliography on the biogás production and the administration of the transport. It is selected like instrument of methodological character a general procedure for the optimization of the provisioning route for the plant of biogás study object, composed by five phases: the conformation of the work team and the experts' selection, determination of the demand of the plant, the suppliers' determination and their geographical location, collection of the information and calculation of the route, implementation and control of the route. Based on a focus different from analysis that doesn't exclude that that at the moment is made, but rather it supplements it. Starting from the same one it is designed and it implements the good route for the supply of necessary substrates. Conclusions that corroborate the objectives of the investigation also settle down.

Índice

Introducción	1
Capítulo I	7
1. MARCO TEORICO Y REFERENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN	7
Introducción	7
1.1 Conceptos de logística, evolución histórica	8
1.2. Características de la logística en Cuba	9
1.3 La logística como sistema y sus actividades claves	11
1.4. Subsistema de Aprovisionamiento	14
2. Transporte, conceptualización	16
2.2 Modelos de rutas de distribución	19
2.3 Procedimiento de Optimización mediante Colonia de Hormigas en la solución de problemas de distribución.	22
3. Fuentes renovables de energía	24
3.1 El biogás como fuente de energía renovable	25
3.2 El biogás en Sancti Spíritus principales fuentes de materias primas y proveedores	26
3.3. Conclusiones parciales del Marco Teórico	28
Capítulo 2. Fundamentación metodológica de la herramienta propuesta seleccionada para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento para plantas de biogás.	30
2.1 Caracterización de la planta de biogás objeto de estudio	30
2.2 Fundamentación metodológica de la herramienta seleccionada, para determinar la ruta factible de aprovisionamiento de una planta de biogás	33
2.2.1 Conformación del equipo de trabajo y selección de expertos	34
2.2.2. Determinación de las demanda de la planta	37
2.2.3. Determinación de los nodos o proveedores y la ubicación geográfica	38
2.2.4 Recogida de la información y cálculo de la ruta	43
2.3 Conclusiones parciales	46
Capítulo 3. Implementación del procedimiento seleccionado para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento para una planta de biogás en la UEB Central Azucarero “Melanio Hernández”	47
3.1 Determinación de la cantidad de expertos	47
3.2. Determinación de las demanda de la planta	49
3.3. Determinación de los nodos o proveedores y la ubicación geográfica	52
3.3. Introducir los datos y definir los parámetros del algoritmo e interpretar los resultados	58
3.4 Fase 5: Implementación de las rutas	63
3.5 Conclusiones parciales	65
Conclusiones	66
Recomendaciones	67
Bibliografía	
Anexos	

Introducción

La logística se puede analizar partiendo de la misión de cada entidad, y se tendrá por ejemplo la existencia de una logística industrial, una logística de comercio o comercial y una logística de servicio. Con el tiempo, los sistemas logísticos, los puntos de consumo y producción comenzaron a separarse geográficamente. Cada área empezó a especializarse en aquellos bienes que podían producir más eficientemente. Los excesos de producción se trasladaban económicamente a otras zonas productivas. Es ahí precisamente donde surgen las funciones de aprovisionamiento y distribución de los productos.

La función de aprovisionamiento existe a partir del momento en que un objeto o servicio debe ser buscado fuera de la empresa. Dentro de los principales objetivos se tienen los siguientes:

- Proporcionar un flujo interrumpido de materiales, suministros, servicios necesarios para el funcionamiento de la organización.
- Mantener las inversiones en existencias y reducir las pérdidas de estos a un nivel mínimo.
- Mantener unas normas de calidad adecuadas.
- Buscar y mantener proveedores competentes.
- Normalizar los elementos que se adquieren.
- Comprar los elementos y los servicios necesarios al precio más bajo posible.
- Mantener la posición competitiva de la organización.
- Conseguir los objetivos del aprovisionamiento procurando que los costos administrativos sean los más bajos posibles.

Organizar a las empresas para conseguir estos objetivos es difícil porque no sólo hay que tener en cuenta las necesidades internas, sino también las del mundo exterior.

En la mayor parte de las organizaciones los aprovisionamientos consumen aproximadamente entre el 20% y 50% de los ingresos totales de la empresa en mercadería y servicios. Cuando una organización gasta cantidades tan grandes de los ingresos en una sola área es importante que se reciba una buena compensación por los fondos comprometidos.

Investigadores cubanos, destacados en la disciplina científica Logística empresarial, tales como (Torres Gemeil, Acevedo Suárez y Gómez Acosta, 2007) consideran que el aprovisionamiento, la producción y la distribución son los tres subsistemas que conforman un sistema logístico.

Para aquellas empresas que transportan mercancías el movimiento de productos del almacén al cliente involucra nuevos desafíos cada día. Por lo que resulta vital la utilización de métodos que permitan la realización de una correcta selección de las rutas de distribución o aprovisionamiento.

La agudización de la crisis económica por la que el mundo atraviesa, ha impuesto a los países en desarrollo la necesidad creciente de buscar soluciones, con recursos nacionales, a los problemas y demandas de su economía, además de preparar a la población para que esta aprenda a sobrevivir bajo circunstancias y condiciones adversas. El mundo actual enfrenta dos problemas básicos para la existencia y el progreso futuro de la humanidad:

- La detención de la creciente contaminación ambiental.
- La búsqueda y obtención de nuevas fuentes de energía.

Dentro de las distintas posibilidades tecnológicas que se investigan y desarrollan en diversos campos, como solución a estos problemas, se destaca la tecnología del biogás, por su cada vez más creciente aplicación y empleo.

La tecnología del biogás está bien adaptada a las exigencias ecológicas y económicas del futuro, por lo que se le considera una tecnología de avanzada. Cuba, no se queda atrás en este aspecto, la producción de energía eléctrica, siempre ha presentado dificultades pues ha dependido de la importación de combustible. En la nueva política a seguir con la implementación de los lineamientos trazados a raíz del VI Congreso del Partido Comunista de Cuba se reafirma lo antes expuesto mediante el 246, 247 y 254, los cuales refieren: Fomentar la cogeneración y trigeneración en todas las actividades con posibilidades. En particular, se elevará la generación de electricidad por la agroindustria azucarera a partir del aprovechamiento del bagazo y residuos agrícolas cañeros y forestales, creándose condiciones para cogenerar en etapa inactiva, tanto en refinación como en destilación.

Potenciar el aprovechamiento de las distintas fuentes renovables de energía, fundamentalmente la utilización del biogás, la energía eólica, hidráulica, biomasa, solar

y otras; priorizando aquellas que tengan el mayor efecto económico. Proyectar el sistema educativo y los medios de difusión masiva en función de profundizar en la calidad e integralidad de la política enfocada al ahorro y al uso eficiente y sostenible de la energía.

Lograr el eficiente suministro de las principales materias primas para la producción de energía mediante plantas de biogás es un proceso que interviene de forma activa en la adecuada implementación de los lineamientos antes mencionados. La optimización de los costos de aprovisionamiento y la necesidad de minimizar los tiempos de entrega aumenta significativamente, por lo que resulta vital para las empresas la utilización de métodos que permitan la realización de una correcta selección de las rutas de aprovisionamiento.

Usar la teoría de la optimización, en una determinada aplicación, incluye la selección de valores para un número de variables interrelacionadas, atendiendo a una función objetivo, diseñada para cuantificar la ejecución y medida de la calidad de la decisión. Dicha función es maximizada o minimizada, según el objetivo y la formulación de la misma, sujeta a restricciones que pueden limitar la selección de los valores de las variables de decisión. En el caso de cálculo de rutas, cada individuo de la población es un orden de recorrido o posible solución del problema compuesto de: Origen, destinos en un orden concreto. Y la función de supervivencia o adaptación consiste en la suma de las distancias entre los distintos puntos en el orden indicado por el individuo. El presente trabajo se centra en determinar la ruta factible para el aprovisionamiento de las plantas de biogás como fuente de energía renovable.

La provincia de Sancti Spíritus, con una estructura productiva eminentemente agrícola, la producción de biogás para generar electricidad de forma descentralizada puede constituir una excelente y ventajosa solución para dar respuesta a las crecientes demandas energéticas. Sin embargo existen deficiencias que impiden una adecuada explotación de dicha fuente energética, para el caso de la UEB Central Azucarero Melanio Hernández se enfatizan como **situación problemática**:

- Necesidad de identificar una ruta factible para el aprovisionamiento eficiente de una planta de biogás en correspondencia con fuentes de residuos orgánicos existentes.

- Desconocimientos de herramientas que contribuyan a un mejor aprovisionamiento para las plantas de biogás con fines energéticos
- Inexperiencia en la generación energética a partir de residuos orgánicos de la industria.
- Resistencia al cambio de la utilización del biogás con fines energéticos
- Aumento de las necesidades energéticas en la provincia

De lo anterior se deriva como problema científico

¿Cómo contribuir al aprovisionamiento eficiente de una planta de biogás para la explotación con fines energéticos en la UEB Central Azucarero Melanio Hernández?

El **objetivo general** que se persigue, determinar la ruta factible de aprovisionamiento para una planta de biogás en la UEB Central Azucarero Melanio Hernández, que contribuya al aprovisionamiento eficiente de la misma.

Como **objetivos específicos** se plantearon los siguientes:

1. Construir un marco teórico referencial sobre el aprovisionamiento, caminos óptimos, la producción de biogás con fines energéticos a partir de diferentes residuos orgánicos y tendencias actuales.
2. Seleccionar un método para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento para una planta de biogás, en la UEB central Azucarero Melanio Hernández.
3. Determinar la ruta factible de aprovisionamiento para una planta de biogás, en la UEB central Azucarero Melanio Hernández.

La **hipótesis de la investigación se define como:** Si se determina la ruta factible de aprovisionamiento de una planta de biogás para la explotación con fines energéticos en la UEB central Azucarero Melanio Hernández se contribuirá a un aprovisionamiento eficiente de la misma.

Limitaciones y Alcance

Entre las limitaciones, se encuentra la falta de tiempo para su generalización, debido a la cantidad de datos a procesar para llegar a determinar verdaderamente su factibilidad en la aplicación práctica. Otra de las limitaciones es la dificultad para acceder a la información especializada actualizada (revistas de primer mundo, libros clásicos, sitios de internet sin permiso a entrar, entre otros.). También trabajar sobre

una base abstracta al no contar con una planta real puesta en marcha donde se puedan reafirmar los resultados obtenidos, o la obtención de datos de consumo de producción.

Sobre el alcance, lo más importante es precisamente el valor teórico y metodológico del método seleccionado e implementado, para lograr el objetivo trazado. Determinándose una nueva proyección del proceso de aprovisionamiento en el objeto de estudio.

Resultados y beneficios esperados

El método que se desarrollará, debe influir fuertemente en el mejoramiento de los resultados, al optimizar las rutas para el aprovisionamiento de las plantas de biogás.

Por medio de la actuación directa sobre aspectos tales como:

- Aumento del niveles de generación energéticas.
- Optimización del tiempo de aprovisionamiento para las plantas de biogás.
- Balance en la transportación de la materias primas para la producción de biogás y las capacidades de producción de las plantas de este tipo.
- Mayor seguridad en el aprovisionamiento de biomasa.

Métodos y Técnicas

Métodos de investigación:

- Análisis y síntesis de la información obtenida en la literatura.
- Histórico-lógico para estudiar antecedentes, causas, condiciones históricas en las que surgió el problema y lo que se repite en el proceso de desarrollo del objeto.
- Sistémico-estructural para abordar las características y el carácter sistémico de los sistemas de aprovisionamiento y los problemas de rutas en la transportación.

Técnicas de investigación:

- Análisis de documentos escritos para transformar la información de la forma primaria a la necesaria para la investigación.
- Métodos de expertos para validar instrumentos.
- Algoritmos de optimización.

- Técnicas de trabajo en grupo.
- Diagramas de Pareto y Ishikawa, para selección y precisión de problemas y sus causas.

Justificación y Viabilidad

La investigación es viable, por la significación que tiene para la sociedad la utilización de energías renovables con el fin de garantizar un desarrollo sostenible. Más aún en una provincia cuyo desarrollo económico está basado fundamentalmente en la agricultura generando altos volúmenes de residuos orgánicos, convirtiéndose en una necesidad eminente y factible la explotación de plantas de biogás con este fin, de allí la importancia de lograr implementar instrumentos que eleven al máximo las potencialidades de la capacidad instalada de las mismas, elevando los niveles de gestión de sus procesos.

Las motivaciones para el presente trabajo de diploma son de carácter Teórico y Metodológico, por lo que la investigación a desarrollar, es fundamental orientada a crear habilidades en el conocimiento e implementación de herramientas que permitan una mejor eficiencia de las plantas de biogás.

Estructura de la Tesis.

El informe de la tesis está estructurado en tres capítulos:

En el Capítulo I. Marco teórico referencial, donde se recogen los fundamentos teóricos y prácticos que sirven de soporte para la investigación.

En el Capítulo II Fundamentación metodológica de la herramienta seleccionada para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento de una planta de biogás, en la UEB Central Azucarero Melanio Hernández.

El Capítulo III Determinación de la ruta factible de aprovisionamiento de una planta de biogás, en la UEB Central Azucarero Melanio Hernández.

Capítulo I. Marco teórico y referencial de la investigación

Introducción

El presente capítulo está dedicado a mostrar la información además de la estrategia para la revisión de las diferentes fuentes a consultar sustentada sobre la base de la revisión de la literatura especializada y de otras fuentes de forma tal que permita el análisis del “estado del arte y de la práctica” en la temática objeto de estudio (ver hilo conductor) permitiendo sentar las bases teórico-prácticas del proceso de investigación y con ello, contribuir a sustentar científicamente el trabajo, así como su valor práctico centrado en alcanzar la ruta factible del aprovisionamiento para la planta de biogás objeto de estudio

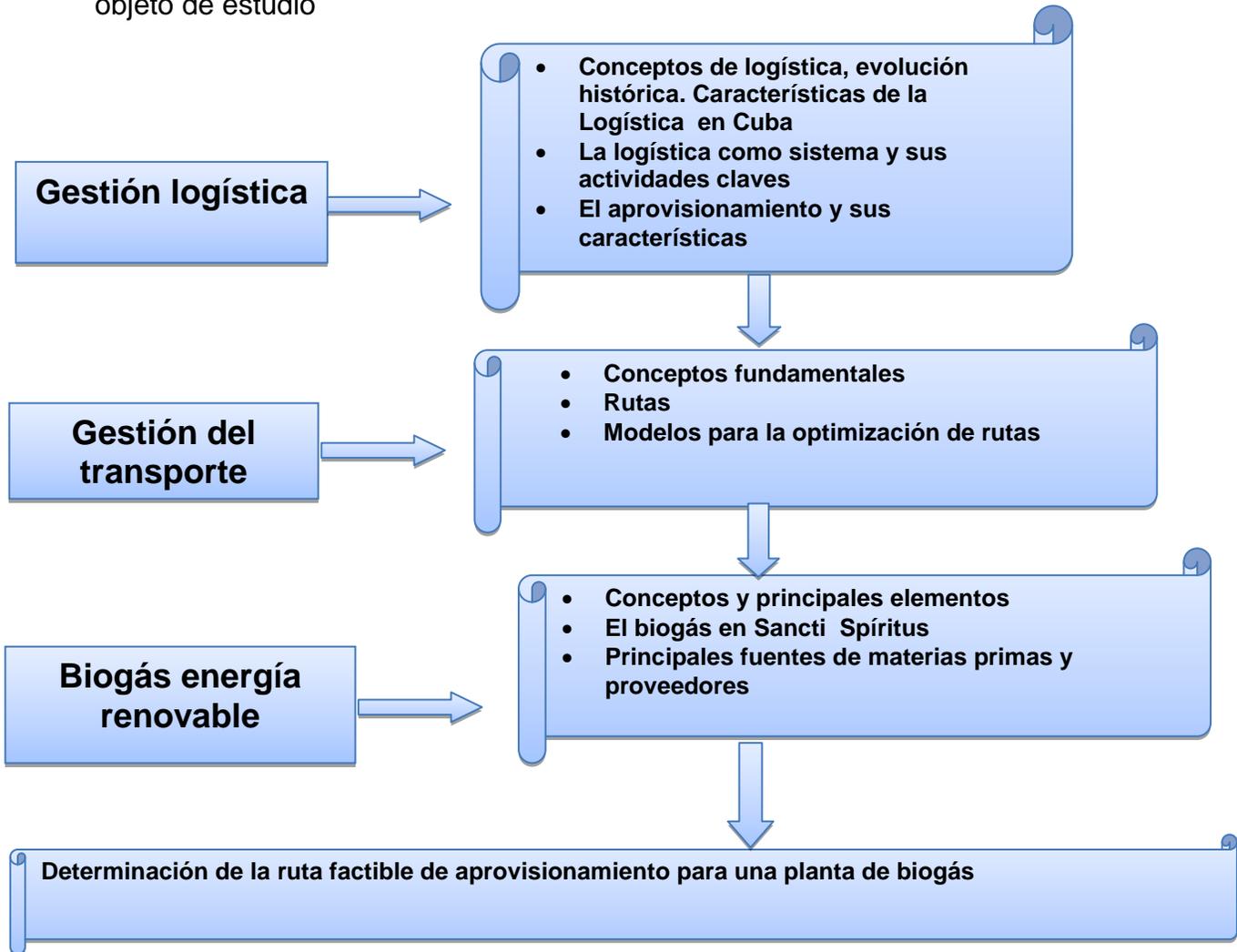


Figura 1.1 Hilo conductor del marco teórico referencial de la investigación.

1.1 Conceptos de logística, evolución histórica

La logística tiene surgimiento desde que el hombre necesitó conservar los granos de trigo hasta la próxima cosecha (Comas Pulles, 1996). Esta actividad de manipulación y almacenamiento es tan antigua que ha presentado diferentes etapas evolutivas como son la Revolución Industrial en esta etapa la logística fue un subproducto que posibilitó minimizar los costos de posesión de inventarios, Estrategia Logística, Sistemas Logísticos, Abastecimiento, Gestión de Inventario, Servicio al Cliente, Servicios Técnicos Automotrices otra etapa es Administración de los Transportes en la cual la mayor preocupación de esta fue disminuir los costos de dicha actividad, la Distribución Física en este momento de la logística se reúnen el manejo de los costos de fabricación, de inventarios y de transporte. La Administración del Material la característica de esta etapa es que mediante la logística, se realiza el abastecimiento de materias primas. Servicio al Cliente son los momentos actuales los que viven esta evolución, donde el proceso logístico abarca una variada gama de funciones, desde el suministro de materia prima, su transformación y finalmente, la distribución y entrega del producto terminado a quien lo demanda. Estas etapas han dado lugar al surgimiento de diversos conceptos y principios. En los últimos años, muchas son las **definiciones de logística** dadas por diferentes instituciones y autores como:

(Centro Español de Logística ,1993)

Es una actividad que incluye dos funciones básicas: la gestión de los materiales, encargada de los flujos materiales en el aprovisionamiento de las materias primas y componentes y en las operaciones de fabricación, hasta el envase del producto terminado; y la gestión de distribución, que considera el embalaje, control de los inventarios de los productos terminados, pasando por los procesos de manipulación, almacenamiento y transporte hasta la entrega del producto al cliente.

(Council of Supply Chain Management Professionals, 1998)

Es aquella parte de la gestión de la cadena de suministro que planifica, implementa y controla el flujo y almacenamiento eficiente de bienes, servicios e información, desde el punto de origen al punto de consumo, para satisfacer los requerimientos del cliente.

(Gómez Acosta y Acevedo Suárez ,2001)

Es la acción del colectivo laboral dirigida a garantizar las actividades de diseño y dirección de los flujos materiales, informativos y financieros desde sus fuentes de origen

hasta sus fuentes finales, que deben ejecutarse de forma racional y coordinada con el objetivo de proveer al cliente de productos y servicios en la cantidad, calidad, plazos y lugar demandados con elevada competitividad y garantizando la preservación del medio ambiente.

(Torres Gemeil et al. ,2003)

La logística es conjunto de técnicas que de por sí tienen cuerpo propio, no formando parte de ninguna en específico y sirviéndose de elementos de diferentes áreas: la matemática, la informática económica, la administración de empresas y otras.

(Knudsen Gonzáles ,2005)

Es aquella parte de la gestión de la cadena de suministro que planifica, implementa y controla el flujo y almacenamiento eficiente de bienes, servicios e información desde el punto de origen hasta el punto de consumo para añadir valor al cliente con elevada competitividad y garantizando la preservación del medio ambiente.

En cualquier de los casos deben contribuir a que las organizaciones sean más eficientes, siempre y cuando se logre diseñar y gestionar los sistemas logísticos de las mismas, buscando racionalidad, integralidad y efectividad.

En un sentido amplio, "se **entiende** por **logística** al conjunto de conocimientos, acciones y medios destinados a prever y proveer los recursos necesarios que posibiliten realizar una actividad principal en tiempo, forma y al costo más oportuno en un marco de productividad y calidad" (Gambino Antonio, 2000).

En un sentido más concentrado en el ámbito empresarial se tiene que "**logística** es el proceso de gerenciar estratégicamente el movimiento y almacenamiento de materias primas, partes y productos terminados, desde los proveedores a través de la empresa hasta el usuario final" (Rincón Ramos, 2003).

1.2. Características de la logística en Cuba

En Cuba, **el precursor** del **enfoque** en **sistema** de la función logística fue (Comas Pullés, 1996), el cual demostró la importancia y necesidades del mismo en las empresas cubanas.

Cuba se ha visto afectada durante décadas por el bloqueo económico implantado por los Estados Unidos, por lo que actualmente cuenta con una red logística que no se corresponde a las nuevas exigencias que impone los nuevos retos. Debido a esta

contradicción los proveedores se han alejado y por tanto han aumentado las dimensiones de los ciclos de reaprovisionamiento.

Las empresas cubanas necesitan multiplicar su eficiencia y eficacia como medio para suplir la escasez de materiales. Nacionalmente no se poseen datos históricos que reflejen la influencia de los costos vinculados a las actividades logísticas, sin embargo, es de admitir el elevado volumen de estos valores si se tienen presentes:

- La cuantía de recursos almacenados e inmovilizados y sus respectivos costos de conservación.
- Los elevados costos de transportación que deben ser desembolsados por las importaciones, debido a la situación de un país bloqueado con economía planificada.
- El escaso y deficiente parque de transportación.
- Los frecuentes desequilibrios de inventario que enfrentan las empresas nacionales que conllevan en ocasiones a su respectiva ruptura.
- Las deficiencias en los flujos y el control de las existencias, lo que implica dilatados trámites y excesivo tiempo para resolver los reaprovisionamientos.

Al analizar los principales problemas que presentan las empresas cubanas, bajo la óptica del enfoque logístico, es prudente señalar mesuradamente, las incidencias de mayores trascendencias; el autor (Matos Rodríguez ,1997), particulariza ciertas reflexiones en este sentido, destacándose dentro de ellas, las siguientes:

- Ineficientes sistemas de almacenamiento, preparación y expedición de pedidos, y control de las mercancías.
- Integración inadecuada de los procesos esenciales de la empresa: suministro, producción, distribución.
- Bajos niveles de servicios al cliente, visto bajo el prisma del incumplimiento de fechas de entrega, pedidos incompletos, bajas frecuencias de entrega, prolongando tiempo del ciclo de los pedidos, limitadas capacidad de reacción ante contingencias, etc; motivando un incremento de los niveles de inventario y los costos de almacenamiento y transporte, tanto para la empresa como para los clientes.
- Preparación insuficiente del personal vinculado a las funciones de suministro, almacenamiento, ventas y distribución.

Considerando el análisis realizado la autora manifiesta, que a pesar de los esfuerzos realizados por el país para erradicar dichas dificultades muchas de ellas persisten en los momentos actuales. No obstante se prevé que los nuevos cambios en la política económica y la introducción de nuevos polos de desarrollo contribuyan alcanzar paradigmas de mayor perspectiva en los sistemas logísticos.

1.3 La logística como sistema y sus actividades claves

Según Ballou H. R. en su libro “La logística empresarial” publicado en 1991, las actividades empresariales que forman parte de la logística, varían de empresa a empresa, dependiendo de características como: la estructura organizativa, las diferentes opiniones de los directivos acerca del alcance de la logística o la importancia de cada actividad dentro del ámbito de las operaciones de la firma. No obstante existen un grupo de actividades que tienen como característica el hecho de estar presentes en todo sistema logístico, dichas actividades son conocidas con el nombre de actividades claves.

Una panorámica de las actividades claves de la logística se muestra a continuación y se completa con algunas de las decisiones asociadas a cada actividad.

1. Servicio al cliente.

El servicio al cliente tiene gran importancia por ser la actividad clave que regula a las restantes, y que por lo general, se encuentra relacionada con los objetivos empresariales, al definir el nivel y el grado de respuesta que debe tener el sistema logístico. Por ello, el establecimiento de estos niveles va a afectar al costo de la logística (a mejor y mayor servicio, mayor costo), pudiéndose llegar a la situación de que si el nivel exigido es muy alto o los servicios son muy particulares, las alternativas para proporcionar dichos servicios sean tan restringidas que los costos lleguen a ser excesivamente altos. (Ballou, 1991).

Para la realización del servicio al cliente la cooperación con el departamento de ventas se realiza mediante (Cespón, Auxiliadora, 2003):

- La determinación de las necesidades y deseos del usuario en relación con el servicio logístico.
- La determinación de la respuesta del cliente al servicio que se le ha brindado.
- El establecimiento de los niveles de servicio al cliente.

2. Gestión de inventarios:

La gestión de inventario es el proceso de administración del inventario de manera que se logre reducir al máximo su cuantía, sin afectar el servicio al cliente, mediante una adecuada planeación y control del mismo. El enfoque tradicional, en lo que respecta a la gestión de inventarios, se basa en los conceptos de punto de pedido y cantidad a pedir, como base para tomar las decisiones de: ¿qué pedir?, ¿cuánto pedir?, ¿cuándo pedir? y ¿cómo pedir? Dentro de la gestión de inventario se encuentran:

- Política de inventarios tanto a nivel de materias primas como de producción final.
- Proyección de las ventas a corto plazo.
- Relación de productos en los almacenes.
- Número, tamaño y localización de los puntos de almacenamiento.
- Estrategias de “entrada - salida” de productos del almacén

3. Procesamiento de pedidos.

El procesamiento de pedidos está asociado a:

- El procedimiento de interacción entre la gestión de pedidos y la de inventarios.
- Los métodos de transmisión de información sobre los pedidos.
- Las reglas para la confección de los pedidos.

4. Transporte.

El transporte como actividad clave de la logística influye sobre dos aspectos esenciales: la utilidad de lugar y de tiempo, lo cual significa tener la mercancía en el lugar y el momento que se necesita. Atendiendo a estos criterios, existe una gran variedad de conceptos alrededor de esta importante actividad, siendo algunos de los más utilizados tanto en la práctica como en el mundo académico, los siguientes:

- Transporte: Actividad clave de la logística, cuya función es el traslado de materiales y mercancías hasta los puntos de consumo.
- Transporte: Actividad clave de la logística, cuya función es añadir valor de tiempo y lugar.

El proceso de transporte abarca las siguientes actividades:

- Selección del modo y medio de transporte.
- Consolidación de envíos.
- Establecimiento de rutas de transporte.
- Distribución y planificación de los vehículos de transporte

El alcance de la cadena de suministro define el sistema logístico, considerado como “el conjunto de elementos físicos e informativos, necesarios para la realización de cierto flujo material, a lo largo de múltiples filas de proveedores y clientes” (Cespón Castro, 2003).

Los subsistemas son las partes o módulos que forman un sistema. Cada sistema está compuesto de “subsistemas”, los cuales a su vez son parte de otros subsistemas; cada subsistema es delineado por sus límites.

Las interconexiones y las interacciones entre los subsistemas se llaman interfaces. Las interfaces ocurren en el límite y toman la forma de entradas y de salidas. La gestión logística se constituye en el componente principal de la cadena de valor que incorpora el producto. La logística vela por la optimización y el mantenimiento de los recursos de esta cadena a través de sistemas de información compartidos por todos los que intervienen en ella y mediante la aplicación de indicadores de desempeño que permitan conocer los niveles de inventarios, los tiempos de procesamiento, la rotación de los productos en los supermercados ,etc.

División del sistema logístico. Como todo sistema, la logística se compone de subsistemas:

- Subsistema de Aprovisionamiento.
- Subsistema de Producción.
- Subsistema de Distribución física.

El subsistema de aprovisionamiento: Abarca a todos los proveedores y comprende todos los procesos necesarios para poner: materias primas, piezas y partes adquiridas al servicio del subsistema de producción.

El subsistema de producción comprende: La transformación de las materias primas, piezas y partes en productos intermedios o terminados, y su correspondiente almacenamiento.

El subsistema de distribución física: Orientado hacia el mercado, se encarga del movimiento de los productos terminados desde el final de los procesos de fabricación hasta los clientes.

Las actividades logísticas dentro de una empresa se centran en tres procesos básicos:

- Proceso de aprovisionamiento, la gestión de materiales entre los puntos de adquisición y las plantas de procesamiento que se tengan.

- Proceso de producción, gestión de las operaciones de fabricación de las diferentes plantas.
- Proceso de distribución, gestión de materiales entre las plantas mencionadas y los puntos de consumo.

Según el sitio web www.logisticaytransporte.org, existen factores que intervienen o se vinculan con la logística, en especial a la hora de su evolución, se refiere a la eficiencia en la actividad productiva, el aumento en las líneas de producción, la cadena de distribución debe mantener menos inventarios a medida que transcurre el tiempo, los sistemas de información deben estar sumamente desarrollados, etc. Si todo esto ocurre entonces es muy probable que la logística conlleve a los siguientes beneficios: **incremento de la competitividad y una mejor rentabilidad para la entidad comercial, optimización de la gerencia y la gestión logística** a nivel nacional e internacional, una factible coordinación a la hora de decisiones relevantes tales como la compra, precio, empaque, distribución, servicio, etc.

1.4. Subsistema de Aprovisionamiento

El subsistema de aprovisionamiento: debe encargarse de las siguientes cuestiones:

- Previsión de las necesidades de materiales en el proceso productivo de la empresa.
- Contacto con los proveedores: estudio de ofertas, elección de las más adecuadas y establecimiento de acuerdos sobre precio y calidad.
- Recepción de los materiales, inspección de la calidad y la cantidad y en su caso hacer reclamaciones.
- Almacenaje y gestión de almacén.
- Suministrar los materiales a las diferentes secciones.

El subsistema de aprovisionamiento se encarga de obtener los materiales y los servicios en el exterior de la empresa. Funciona de manera efectiva siempre y cuando los materiales que se emplean en el proceso productivo estén disponibles en el momento y lugar adecuados.

Una insuficiencia en el suministro de materias primas supone interrupciones en el proceso productivo, incapacidad para responder a la demanda, pérdida de ventas y pérdidas económicas.

Exceso de suministros supone un volumen de recursos financiero importante para pagar a los proveedores y soportar los costes derivados de la gestión.

Esta confrontación es estimulada por la tendencia de aprovisionamientos hacia la reducción de los precios a corto plazo y se pone en práctica por las políticas de negociación, donde calidad, plazo de entrega y especificaciones de diseño, actúan como restricciones impuestas por el usuario y se transmiten al proveedor con el filtro de la negociación entre comprador y vendedor que, según se indica en la Figura No.1.2, actúan como meros intermediarios.

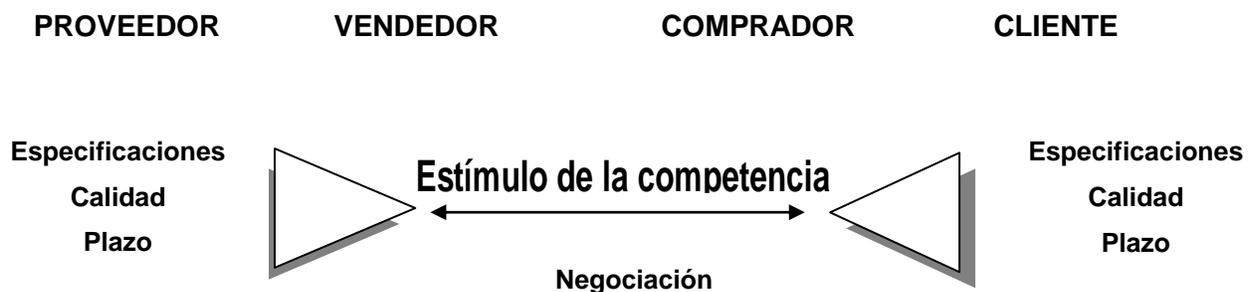


Figura 1.2 Flujo de estímulos logísticos. **Fuente:** elaboración propia

En este ambiente de confrontación donde los compromisos no cubren más allá del pedido en curso, es preciso asegurarse que los compromisos formales obtenidos en la negociación se respeten, por lo que a la función de aprovisionamientos (ayudada por otras funciones técnicas como control de la calidad, etc), no le queda otra alternativa que asumir el papel <<policial>> de controlador del material que se recibe con el fin de evitar posibles engaños.

La incertidumbre del nuevo entorno se ve ampliada por las políticas tradicionales empleadas en la función de aprovisionamientos y la comunicación con los proveedores, se hace cada vez más antagónica. En resumen, el entorno tradicional de aprovisionamientos se caracteriza por tener relaciones antagónicas con objetivos independientes y muchas veces contrapuestos.

Sin embargo, en el entorno actual, se ha demostrado que la simple presión no es eficiente para lograr dichos objetivos y aquellas empresas que disponen de los recursos necesarios para estructurar una función de aprovisionamientos capaz de plantearse una actuación más profesional, más allá de la simple presión para reducir precios ejercida a

través del ejercicio del poder de la negociación, deben actuar de forma proactiva en la relación con sus proveedores. Lo cierto es que, a partir de la situación de crisis del enfoque tradicional de gestión de aprovisionamientos, poco a poco comienzan a aparecer síntomas de cambios más profundos que cuestionan dicho enfoque.

Es indudable que la nueva concepción del sistema logístico como cadena integrada de suministros, acarrea beneficios como: mayor valor añadido, plazos de entrega más cortos y fiables, al producto, menos cambios de última hora en las programaciones, menos *stocks*, menos problemas de calidad, mayor adecuación del servicio y el producto a las necesidades específicas. Todo lo cual se deriva de la necesidad de que proveedores y clientes comiencen a reconocer las oportunidades de obtener ventajas mutuas que pueden derivarse de compartir información acerca de las necesidades de materiales de una manera continua y leal. Alcanzada bajo este enfoque.

2. Transporte, conceptualización

El transporte como actividad clave de la logística influye sobre dos aspectos esenciales: la utilidad de lugar y de tiempo, lo cual significa tener la mercancía en el lugar y el momento que se necesita. Atendiendo a estos criterios, existe una gran variedad de conceptos alrededor de esta importante actividad, siendo algunos de los más utilizados tanto en la práctica como en el mundo académico, los siguientes:

- *Transporte:* Actividad clave de la logística, cuya función es el traslado de materiales y mercancías hasta los puntos de consumo.
- *Transporte:* Actividad clave de la logística, cuya función es añadir valor de tiempo y lugar.

Este último concepto considera la interrogante sobre si realmente el transporte añade o no valor, dado que durante el mismo generalmente las mercancías no sufren transformaciones hacia una forma más acabada de producto. Sin embargo, si bien es cierta esta aseveración, también resulta indiscutible que en la actualidad, disponer de los productos necesarios en el lugar y momento oportuno, es un requisito indispensable para lograr un efectivo servicio al cliente y en consecuencia una ventaja competitiva para cualquier tipo de organización ya sea de la esfera productiva o de los servicios.

Acerca de este importante concepto, también existe una amplia variedad de clasificaciones que van desde la consideración de las propiedades de los diferentes medios de transporte, hasta la zona geográfica en la que son utilizados. Por esa razón,

es que a continuación se mencionan solo tres, pero que resultan de las más conocidas, al tiempo que guardan una estrecha relación con el rol que el mismo desempeña dentro de una Cadena de Suministros, estas son:

- Atendiendo al modo de transporte.
- Atendiendo a su pertenencia.
- Según el lugar que ocupa en la Cadena de Suministros.

Atendiendo al modo de transporte.

Por modo de transporte, se entienden las diferentes formas en que puede realizarse el traslado de mercancías, por lo que según este criterio el transporte se clasifica en:

Terrestre, que comprende tanto al Automotor como al Ferroviario, Marítimo, Fluvial, Aéreo.

También resulta importante destacar que los modos terrestre, marítimo, aéreo y fluvial, se emplean tanto para el traslado de cargas como de pasajeros, constituyendo cada uno de ellos, temas de estudio que tienen su tratamiento específico en cuanto a técnicas y enfoques a utilizar. Es importante aclarar que en la actualidad, a los modos anteriores, varios autores adicionan el transporte por tuberías, en alusión a los oleoductos, aunque esta vía también ha sido empleada para el traslado de sólidos suspendidos en medios líquidos

Atendiendo a su pertenencia.

Según (Colectivo de autores, 2000), atendiendo a esta característica, los medios de transporte pueden ser clasificados como: Transporte propio, Transporte contratado, Transporte mixto.

El transporte propio se caracteriza por ser una actividad complementaria a la actividad principal de la empresa, por lo que sus objetivos están dirigidos a satisfacer las necesidades de transportación propia. Entre las ventajas de este tipo de transporte, para las actividades de aprovisionamiento y distribución, se destacan: la reducción de las manipulaciones, una mayor productividad del trabajo en la operación de descarga del vehículo, la reducción del número de vehículos que llegan al almacén y una mejor disponibilidad y maniobrabilidad en los muelles y zonas de carga y descarga. Sus características más significativas son las siguientes:

- Poca flexibilidad del parque.
- Posibilidad de controlar directamente la actividad.

- Elevada inversión en vehículos e instalaciones.
- Altos costos fijos.
- Bajos rendimientos económicos.

El transporte contratado se caracteriza por estar dirigido a satisfacer las necesidades de un cliente que demanda del servicio de transportación. Las formas de contratación más frecuentes son: El contrato exclusivo, el contrato con agencia.

El contrato exclusivo (transporta mercancías de una sola empresa y por lo general el vehículo es propiedad individual del conductor). Sus características son:

- El menor control de la calidad.
- El ahorro por no invertir en medios de transporte.
- La necesidad de un sistema de gestión de la contratación.

El contrato con agencias, donde organizaciones con medios de transporte propios o no, centran su actividad económica en el traslado regular de mercancías por cuenta ajena en régimen de carga completa o fraccionada, con las características siguientes:

- La posibilidad de controlar con mayor eficiencia la actividad.
- Los costos variables son bajos.
- Una mayor flexibilidad en el servicio que el anterior.

Dada la gran importancia que tiene sobre el desempeño económico de las empresas la adopción del servicio de transportación con medios propios o mediante la contratación, en los marcos de la gestión logística, estos aspectos se convierten en dos opciones estratégicas. Con relación a esto varios autores coinciden en sus planteamientos, destacándose el caso de (Menoyo, 1996), el cual plantea que la decisión que se adopte dependerá del plazo de entrega, la calidad y seguridad del servicio.

Derivado de lo anterior, es que surge un nuevo tipo de propiedad sobre los medios de transporte, el llamado **transporte mixto**, el cual constituye una combinación del transporte propio y el contratado ya que se toman las principales características y ventajas de cada uno de ellos, tales como: menor inversión en medios de transporte e instalaciones, adecuado control directo y una equilibrada relación entre los costos fijos y variables.

Un **sistema de transporte**, es un conjunto de elementos que actuando conjuntamente permiten efectuar las transportaciones dentro de una Cadena de Suministros. Estos elementos, aun cuando muchas veces no se perciban en su integridad por no

pertenecer todos a un mismo eslabón de cierto canal de distribución, en la práctica siempre deben estar presentes. No obstante, el hecho de que en cierto eslabón aparezca o no alguno de estos componentes, hace que las funciones que respecto a los mismos posea cada uno de los eslabones de una Cadena de Suministros, sea diferente. Por esta razón, es conveniente analizar los diferentes casos que respecto a esta pertenencia, pueden ocurrir en la práctica. Ellos son:

Caso 1: Si el transporte corre a cargo del cliente, la función del proveedor culmina cuando realiza la entrega.

Caso 2: Si el transporte es contratado a una empresa transportista, el proveedor debe preocuparse por el precio a pagar y porque el ciclo de transportación sea lo suficientemente corto, como para que la entrega al cliente se realice en el plazo previsto. Este proceso debe quedar reflejado en el contrato.

Caso 3: Si el transporte corre a cargo del proveedor, entonces los elementos del sistema de transporte que debe considerar son:

- Modo de transporte:
- Medio de transporte: Por ejemplo, camiones, autos, trenes, aviones, otros.
- Vías de comunicación: Por ejemplo, carreteras, canales, vías férreas, otros.
- Centros de trasbordo: Por ejemplo: aeropuertos, puertos, etc.
- Talleres de apoyo: Encargado del mantenimiento y reparación
- Sistema de comunicación y automatización: Por ejemplo: computadoras en redes y microondas.
- Medios unitarizadores: Elemento utilizado para facilitar la manipulación de las cargas, como es el caso de los contenedores, cajas-paletas y otros.

2.2 Modelos de rutas de distribución

Independientemente de que se han abordado cuatro actividades indispensables en todo sistema logístico, la presente investigación centra su atención en la actividad de transporte, específicamente en el establecimiento de rutas de distribución.

La distribución surge debido al desequilibrio entre la oferta del fabricante y la demanda del consumidor, por lo que su tarea consiste en reducir las diferencias generadas entre los lugares, los momentos y modos de fabricación y consumo, creándose de esta forma el valor añadido de la distribución, el cual posibilita el traslado de los bienes y/o servicios al lugar de adquisición y/o consumo (Carrazana, 2003).

Las soluciones encontradas en la literatura, están orientadas hacia tres grupos de métodos fundamentales (Cespón Auxiliadora, 2002): los de prueba y error, métodos heurísticos y métodos de optimización. De ellos, los que mayor aplicación han encontrado en la práctica son los dos primeros, dado que permiten llegar a soluciones adecuadas de una manera relativamente rápida como lo exige la mayoría de los Sistemas Logísticos, a lo que cabe añadir que su carácter práctico y de fácil análisis los hacen apetecidos por la mayoría de los profesionales que se desempeñan en el campo de la Administración de Cadenas de Suministros. En el propio manual el Dr. Roberto Cespón Castro y la MSc. María Auxiliadora Amado exponen dos de los métodos más divulgados y de mayor aplicación práctica: el del Barrido, que se incluye dentro del grupo de prueba y error, y el método del Agente Viajero, considerado dentro de los denominados métodos heurísticos. La naturaleza del procedimiento del “Método del Barrido” resulta muy práctica, dado que obedece al sentido lógico que requiere un análisis de rutas. Constituye quizás la herramienta que mayor empleo posee en la práctica, dado que el propio sentido común lleva a su concepción. Se recomienda en situaciones relativamente sencillas para el profesional encargado de trazar las rutas y en aquellos casos en que las distancias entre los puntos a recorrer son similares, tanto a la ida como al regreso, por lo que la mayor atención se dirige hacia la cantidad de materiales o productos que deben ser distribuidos y la capacidad estática de los medios de transporte seleccionados. Por otra parte el “Método del agente viajero” a diferencia del “Método del Barrido” considera las distancias entre los diferentes puntos a distribuir, estableciendo secuencias de recorrido. Existe una gran cantidad de variantes de este procedimiento, muchas de las cuales pueden considerarse como métodos de optimización, aplicables fundamentalmente cuando no son muchos los puntos a distribuir. Sin embargo, la complejidad de las mismas y que si bien no siempre ofrecen un resultado óptimo, si permiten lograr buenos resultados de una manera mucho más rápida. En este sentido, la presente investigación, basándose en estos métodos, centra su atención en la utilización de un procedimiento heurístico que, de igual forma, pretende encontrar las mejores vías de distribución posibles de una forma más ágil.

La heurística.

Se denomina heurística a la capacidad de un sistema para realizar de forma inmediata innovaciones positivas para sus fines. La capacidad heurística es un rasgo

característico de los humanos, desde cuyo punto de vista puede describirse como el arte y la ciencia del descubrimiento y de la invención o de resolver problemas mediante la creatividad y el pensamiento lateral o pensamiento divergente. En la enciclopedia libre la etimología de heurística es la misma que la de la palabra eureka, cuya exclamación se atribuye a Arquímedes en un episodio tan famoso como fabuloso. La palabra heurística aparece en más de una categoría gramatical. Cuando se usa como sustantivo, identifica el arte o la ciencia del descubrimiento, una disciplina susceptible de ser investigada formalmente. Cuando aparece como adjetivo, se refiere a cosas más concretas, como estrategias heurísticas, reglas heurísticas o silogismos y conclusiones heurísticas. Claro está que estos dos usos están íntimamente relacionados ya que la heurística usualmente propone estrategias heurísticas que guían el descubrimiento.

Las metaheurísticas: consisten en conceptos generales empleados para definir métodos heurísticos” (Alonso et al., 2004). Dicho de otra manera, una metaheurística puede verse como un marco de trabajo general referido a algoritmos que puede aplicarse a diversos problemas de optimización (combinatoria) con pocos cambios significativos si ya existe previamente algún método heurístico específico para el problema. Normalmente, estos procedimientos son heurísticos. El nombre combina el prefijo griego "meta" ("más allá", aquí con el sentido de "nivel superior") y "heurístico" (de εὐρίσκειν, heuriskein, "encontrar. Algunas de las metaheurísticas más conocidas son:

Búsqueda primero el mejor (Best-first search): es un algoritmo de búsqueda
Optimización aleatoria (Random optimization): para solucionar problemas de optimización. Búsqueda Tabú (Tabu search): es un método de búsqueda local usando estructuras de memoria. Enfriamiento simulado (Simulated annealing): es un meta-algoritmo probabilístico. Fue independientemente inventado por (S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt and M. P. Vecchi en, 1983) y por (V. Černý en ,1985).

Búsqueda por difusión estocástica (Stochastic Diffusion Search), descrita por primera vez por (Bishop en, 1989) como un algoritmo de base poblacional y corrida de patrones. Pertenece a la familia de Inteligencia de Enjambre, inspirado en búsquedas naturales y algoritmos de optimización entre los cuales se incluyen la Optimización por Colonia de Hormigas, la Optimización por Enjambre de Partículas y Algoritmos Genéticos. El algoritmo de Optimización por Colonia de Hormigas es una técnica probabilística para

solucionar problemas computacionales que pueden reducirse a encontrar buenos caminos mediante gráficos, inspirado en el comportamiento de las hormigas en la búsqueda de alimentos; este algoritmo aplica integradamente conocimientos de la biología, las matemáticas y la inteligencia artificial.

La Optimización por Colonia de Hormigas.

En diversos campos como la economía, el comercio, la ingeniería, la industria o la medicina han existido siempre problemas de optimización. Sin embargo, a menudo estos problemas son muy difíciles de resolver en la práctica ya que muchos de ellos pertenecen a la clase de problemas NP-duros, lo que significa que no existe un algoritmo conocido que los resuelva en un tiempo polinomial y esto implica que para instancias suficientemente grandes no hay mucha esperanza de resolverlos rápidamente (Garey, Jonson, 1979).

Dichos problemas solo tienen solución en el campo de las ciencias de la computación. Día tras día, siguen apareciendo nuevos problemas de este tipo, lo que ha dado lugar a que se hayan realizado muchas propuestas de algoritmos para tratar de solucionarlos. Uno de los más utilizados en los últimos tiempos es el algoritmo basado en Optimización mediante Colonia de Hormigas.

La Optimización por Colonia de Hormigas (OCH) o Ant Colony Optimization (ACO) es una metaheurística que se inspira en el comportamiento que rige a las hormigas de diversas especies para encontrar los caminos más cortos entre las fuentes de comida y el hormiguero (Alonso et al., 2004). Esta metaheurística ha sido exitosamente empleada en la solución de difíciles problemas de optimización como la distribución de mercancías.

2.3 Procedimiento de Optimización mediante Colonia de Hormigas en la solución de problemas de distribución.

El modo de operación básico de un algoritmo de Optimización por Colonia de Hormigas se muestra a continuación (Alonso et al., 2004): las m hormigas (artificiales) de la colonia se mueven, concurrentemente y de manera asíncrona, a través de los estados adyacentes del problema. Este movimiento se realiza siguiendo una regla de transición que está basada en la información local disponible en los nodos. Esta información local incluye la información heurística y memorística (rastros de feromona) para guiar la

búsqueda. Al moverse por el grafo de construcción, las hormigas construyen incrementalmente soluciones.

Los algoritmos de OCH son esencialmente algoritmos constructivos: en cada iteración del algoritmo, cada hormiga construye una solución al problema recorriendo un grafo de construcción. Cada arista del grafo, que representa los posibles pasos que la hormiga puede dar, tiene asociada dos tipos de información que guían el movimiento de la hormiga (Alonso et al., 2004):

El algoritmo utiliza una matriz de feromonas $t = (t_{ij})$ para la construcción de soluciones potencialmente buenas. En otras palabras, t_{ij} representa la cantidad de feromona que se va almacenando entre cada par de nodos (i, j) . Los valores iniciales de t son fijados a un valor constante: $t_{ij} = t_0$ para todo (i, j) siendo $t_0 > 0$.

El algoritmo también aprovecha la información heurística utilizando el parámetro $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$ conocido como peso y puede estar asociado a distancia a recorrer, costo de transportación, etc. Situados en el nodo i , N_i representa el conjunto de nodos aún no visitados. La probabilidad de escoger el nodo j estando en el nodo i está definida por la ecuación 1. (Dorigo M, Di Caro G, Gambardella L. M, 1996); (Maniezzo V, Paciello J. M, Martínez H. D, Lezcano Ch. G, Barán B. 2006); (Stützle T, 1998):

Ecuación 1

$$p_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{j \in N_i^k} [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta} \text{ con } j \in N_i^k$$

Donde: α y β son constantes que expresan la importancia del sendero de feromonas y la distancia entre los nodos respectivamente. Así, un alto valor de α significa que el sendero de feromonas es muy importante y que las hormigas tienden a elegir caminos por los cuales otras hormigas ya pasaron. Si por el contrario, el valor de β es muy alto una hormiga tiende con alta probabilidad a elegir la ciudad más cercana. Al completar una solución o durante la construcción de la misma, la hormiga evalúa la solución y modifica los rastros de feromonas en las componentes de la matriz de feromonas t que de esta forma guarda el conocimiento de las áreas ya exploradas. Esta información de feromonas guiará la búsqueda de futuras hormigas.

Los rastros de feromonas reflejan que los estados más visitados son altamente deseables, implementando de esta manera un proceso de auto catálisis o retroalimentación, mientras que la visibilidad refleja que estados menos costosos (evaluados según los objetivos a optimizar) son también deseables.

El algoritmo también puede incluir un proceso de evaporación de rastros de feromonas, y otras acciones como realizar optimizaciones locales sobre soluciones encontradas o actualizar la información global para guiar el proceso de búsqueda desde una perspectiva no local. La actualización y evaporación de feromonas se realiza según la Ecuación 2.

$$\tau_{ij}(t + 1) = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau$$

Donde: ρ representa el coeficiente de evaporación y Δt se calcula como

$$\Delta\tau = \frac{1}{f_k(x)}$$

Con $K \in \{1, 2, \dots, b\}$ en el caso de realizar una actualización basada en un solo objetivo. Para el caso de actualización considerando los “b” objetivos al mismo tiempo.

$$\Delta\tau = \frac{1}{\sum_{k=1}^b f_k(\vec{x})}$$

3. Fuentes renovables de energía

En Alemania en los últimos años se logró buenos resultados en el desarrollo de las fuentes renovables de energía (Contreras Velásquez, 2006). La ley de las energías renovables en este país, vigente desde el 2000 y modificada en el 2004, favorece con ayudas económicas estatales a los que producen energía eléctrica con fuentes renovables. Un estudio mencionado en “Words in to Action” for the International (Conference for Renewable Energies, 2005), afirma que en Europa sería posible sin dificultades técnicas y económicas llegar a una reducción del 80% de CO₂ en el 2050, con un uso masivo de las fuentes renovables (solar directa, biomasa, viento y agua), y que en sesenta años todas las fuentes de energía podrían ser renovables.

Para hablar de las energías renovables, se debe recordar que estas se entienden como fuentes de energía cuya durabilidad en el tiempo es inagotable, en comparación con la vida de los seres humanos. (Romero Romero, 2005) Existen, a saber, tres fuentes principales de energías renovables: la energía del sol, la energía del sistema gravitacional tierra – luna (que se manifiesta principalmente por la energía del oleaje del mar) y la energía de las profundidades terrestres (que se manifiesta fundamentalmente por la energía de los volcanes). De las tres primeras, la más conocida y difundida en Sancti Spíritus es la energía solar (Romero Romero, 2005). Existen varias formas de utilizar las energías renovables, las que a su vez poseen tecnologías específicas:

- La energía solar fotovoltaica, procedimiento mediante el cual la energía radiante de la luz solar es convertida en energía eléctrica, mediante el flujo electrónico que se provoca en materiales específicos.
- La energía eólica, que permite utilizar la fuerza del viento para generar electricidad. Es la fuente de energía que está creciendo más rápidamente y podría cubrir en el 2020 el 12% de toda la electricidad mundial (Greenpace, 2009).
- La energía hidráulica, mediante esta vía se utiliza la energía potencial gravitatoria de saltos de agua o columnas de líquido que se formaron por vía natural o artificial, para mover una turbina hidráulica que genere electricidad.
- La biomasa como fuente de energía: el uso de la biomasa como fuente de energía, es una vía de utilización indirecta de la energía solar.

La generación de energía a partir de biomasa es una de las fuentes renovables con mayor potencialidades en Cuba, con un potencial estimado en el orden de las 176000 toneladas de combustible equivalente anuales, proveniente de residuales de vacunos y de porcinos, de la producción de azúcar, alcohol, despulpadoras de café y de vertederos sanitarios, que constituyen hoy día, en su conjunto, una vía de contaminación ambiental. Son 78 millones de metros cúbicos de vertimientos biodegradables, concentrados en las fábricas de azúcar, destilerías de alcohol y despulpadoras de café (Indicadores Socioeconómicos, 2003).

3.1 El biogás como fuente de energía renovable

El biogás se puede también extraer del abono animal y puede ser quemado para producir electricidad. Los combustibles de la biomasa y del biogás se pueden almacenar para producir energía. Usar este combustible podría también reducir el consumo del combustible fósil y la contaminación atmosférica (López Gonzales, 2003)

¿Qué es el biogás?

Se llama biogás al gas que se produce mediante un proceso metabólico de descomposición de la materia orgánica sin la presencia del oxígeno del aire. Este biogás es combustible, tiene un valor calórico alto de 4 700 a 5 500 kcal/m (Werner, 1989) y puede ser utilizado en la cocción de alimentos, para la iluminación de naves y viviendas, así como para la alimentación de motores de combustión interna que accionan, máquinas herramientas, molinos de granos, generadores eléctricos, bombas de agua y vehículos agrícolas o de cualquier otro tipo. La generación natural de biogás es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono. El metano producido por bacterias es el último eslabón en una cadena de microorganismos que degradan material orgánico y devuelven los productos de la descomposición al medio ambiente (Brinkman, 1999).

El biogás está compuesto por:

1. Metano (CH_4) 55 a 70 %.
2. Anhídrido carbónico (CO_2) 35 a 40 %.
3. Nitrógeno (N_2) 0.5 a 5 %.
4. Sulfuro de hidrógeno (SH_2) 0.1 %.
5. Hidrógeno (H_2) 1 a 3 %.
6. Vapor de agua Trazas.

Como se observa el aporte calórico fundamental lo ofrece el metano cuyo peso específico es de alrededor de 1 Kg/m^3 . Si deseamos mejorar el valor calórico del biogás debemos limpiarlo de CO_2 . De esta forma se logra obtener metano al 95 %. El valor calórico del metano puede llegar hasta $8\,260 \text{ Kcal. / m}^2$ con una combustión limpia (sin humo) y casi no contamina. El uso del biogás en motores de combustión interna permite que se soporten altas compresiones sin detonaciones (Werner 1989)

3.2 El biogás en Sancti Spiritus principales fuentes de materias primas y proveedores

La provincia Sancti Spiritus es una de las provincias surgidas en Cuba con la división político-administrativa de 1976, con una superficie de 6 731.9 km² ocupa el séptimo lugar en extensión territorial entre las provincias cubanas (Domínguez, Ceballo, García-Lahera y González, 2008).

En la actualidad existen 18 plantas de biogás en la provincia, la mayoría de nueva construcción en lo que comprende los años del 2004 al 2006. El total de plantas existentes, 7 utilizan residuos porcinos como sustratos, 9 vacuno, una utiliza cachaza y una perteneciente al Ministerio del Interior, la cual está concebido para tratar los residuales de una planta empacadora.

Estudios anteriores han demostrado que las principales fuentes de suministro para la producción del biogás en la provincia se concentra en: La Empresa Azucarera Melanio Hernández, la Uruguay y la Arrocera Sur del Jíbaro, las unidades porcinas, el Combinado lácteo Río Zaza, La Empacadora, la Fábrica de Conservas de Vegetales, las unidades procesadoras de tabaco y los residuos sólidos urbanos, por lo que deben ser objeto de análisis en esta investigación. La tabla 1.1 muestra los principales residuos orgánicos originados por estas entidades y su clasificación según origen.

La tabla 1.1 principales residuos orgánicos y su clasificación

UEB Central Azucarero “Melanio Hernández” y “Uruguay”	
Residuo	Clasificación
Residuos agrícolas cañeros (RAC)	Agrícola Solido
Aguas residuales	Industrial líquido
Cachaza	Industrial Solido
Bagazo ¹	Industrial Solido
Vinaza	Industrial líquido
CAI Arrocero Sur del Jíbaro	
Paja	Agrícola Solido
Cascarilla	Industrial Solido
Unidades procesadoras de tabaco	
Palo	Industrial Solido

Combinado lácteo Río Zaza	
Residuos biodegradables	Industrial, líquido
Empacadora “Roberto Quesada”	
Residuos biodegradables	Industrial, líquido
Fábrica de Conservas de Vegetales	
Residuos biodegradables	Industrial, líquido
Semillas	Industrial Solido
Cáscara	Industrial Solido

Fuente: elaboración propia

En la provincia Sancti Spíritus existe un potencial de residuos biodegradables que se puede utilizar en la producción de energía pero no se han identificado las posibles localizaciones de plantas ni los eslabones que componen la cadena de aprovisionamiento de residuos para conformar la red logística en la producción de biogás en la provincia Sancti Spíritus.

4. Conclusiones parciales del Marco Teórico

1. La logística está vinculada al sistema que garantiza el movimiento óptimo de las cargas y la información asociada a las mismas desde los proveedores originales hasta los usuarios finales. Una de las principales actividades de la logística es el transporte por lo que su estudio es de vital importancia para las empresas cubanas.
2. Para la solución de problemas de rutas de distribución resultan válidos el empleo de técnicas heurísticas y metaheurísticas. La “Optimización por Colonia de Hormigas” ofrece resultados muy satisfactorios para estos problemas cuando un algoritmo exacto no es factible de utilizarse.
3. En la bibliografía consultada, no se encuentran criterios específicos para la selección de una adecuada ruta de aprovisionamiento para plantas de biogás por lo que se estima conveniente analizar la combinación de mayor eficacia entre variables como: principales proveedores, tipo de sustrato, volúmenes, además de las distancia a recorrer para su suministro.

Capítulo 2. Fundamentación metodológica de la herramienta propuesta seleccionada para la determinación de la ruta de aprovisionamiento para plantas de biogás

Introducción

El presente capítulo para dar respuesta a la hipótesis planteada tiene como objetivo principal la fundamentación metodológica de la herramienta seleccionada, para determinar la ruta factible de aprovisionamiento de una planta de biogás, que contribuya al aprovisionamiento eficiente de la misma. En el mismo se caracteriza la planta objeto de estudio para la producción del biogás y seguidamente las fases que integran la herramienta seleccionada, así como las técnicas y métodos a emplear en cada una de ellas, además se describen indicadores que permitan evaluar la variable dependiente de la investigación y las conclusiones parciales.

2.1 Caracterización de la planta de biogás objeto de estudio

La planta de biogás objeto de estudio de esta investigación se hizo inicia un estudio bibliográfico, teniendo en cuenta factores de localización como, la cantidad de residuos disponibles, el volumen de gas que se podría generar con cada uno de ellos, (ver anexo 1) y los costos dados por una tecnología determinada, se determina como área de emplazamiento final de la instalación la propuesta por (Oria Gómez ,2010). La UEB Central Azucarero Melanio Hernández se encuentra ubicada en Tuinucú, municipio Taguasco, esta empresa azucarera productora de azúcar crudo y derivados, perteneciente al grupo (AZCUBA) fue inaugurada a principios del siglo XX y su destilería en 1944, en la década del 90 del pasado siglo fue incorporada la producción de rones finos para la exportación y consumo nacional, actualmente su potencial es de 90 000L de bioetanol por día y su norma operacional es de 70000L. Su capacidad potencial de molienda es de 4 600 t/día, (400 000 @/d) y su destilería actual tiene una capacidad de producción de 800 hl/día de alcohol Técnico “A y B” y opera un promedio de 120 a 180 días/año. Como residual a utilizar en el periodo de molienda, la combinación de vinaza y residual líquido propuesta por (Oria Gómez, 2010). Este complejo fabril genera residuos orgánicos durante la cosecha y el procesamiento de

Capítulo 2. Fundamentación metodológica de la herramienta propuesta seleccionada para la determinación de la ruta de aprovisionamiento para plantas de biogás

azúcar y alcohol, identificados como: RAC (residuo agrícola de la cosecha de la caña de azúcar), cachaza, aguas residuales y vinazas.

También considerando estudios anteriores (Oria Gómez, 2007), donde se estima el potencial real de residuos disponibles en el Sector Cooperativo y Campesino que es bien representativo en la producción de residuos que pueden ser utilizados para producir biogás a gran escala, donde se obtiene como resultado que en este sector el recurso agrícola genera 91084.2 toneladas al año de biomasa y el recurso pecuario unas 698 427.5 t. El potencial de biogás estimado a partir de los residuos analizados en el sector asciende a 51 402 762 m³ anuales, donde el recurso pecuario equivale al 51.03% y el agrícola al 48.97%. Se llega a seleccionar la tecnología a utilizar a partir las técnicas de selección de la localización, para el establecimiento de la planta de producción de biogás, resultó seleccionada las cercanías de la UEB central azucarero Melanio Hernández y como residual a utilizar la combinación de vinaza y residual líquido propuesta por (Oria Gómez, 2010). Además con el objetivo de mantener la continuidad productiva de la planta, en los meses de parada del central se decide incorporar a la línea un biodigestor híbrido que pueda asimilar otros sustratos de gran acumulación como Sólidos Urbanos (RSU), y de esta forma suplir la demanda energética de todo el año y así añadirle valor agregado a la planta al contribuir a la reutilización de los desechos sólidos los desechos sólidos de la ciudad estaríamos contribuyendo a disminuir el deterioro medioambiental

La selección de la tecnología a utilizar, a partir de la disponibilidad de utilización de los residuos descritos anteriormente (vinaza y residuales líquidos y RSU), considerando los sustratos a utilizar se identifican 5 etapas para la producción de biogás con fines energéticos en cada grupo, las cuales son:

- **Pretratamiento:** esta primera etapa facilita la interacción microorganismo sustrato, mediante un tanque con agitador para garantizar el mezclado y de ser necesario se añade hidróxido de calcio para neutralizar el pH hasta 6.8 – 7.6. Características tecnológicas del tanque con agitador El volumen del tanque se estima sumando el volumen de vinaza y el volumen de residual. El tipo de agitador de hélice a utilizar se determina por el recomendado por (Rosabal, 1998), con bajos consumos eléctricos, de n = 300 rpm (valor recomendado para este tipo de agitador).

Capítulo 2. Fundamentación metodológica de la herramienta propuesta seleccionada para la determinación de la ruta de aprovisionamiento para plantas de biogás

- **Digestión:** Es la etapa principal del proceso, en la cual se produce el gas combustible, los bioabonos y se reduce la carga contaminante del residuo, tiene por objeto descomponer materias orgánicas y/o inorgánicas en un digestor hermético, sin oxígeno molecular, prosiguiendo el proceso hasta que se produzca metano, dióxido de carbono y otros gases. El volumen del reactor calculado fue de 4746 m³, con un (Área de 400 m²), H= 12 m obteniéndose un flujo de biogás de 15187 m³ de biogás al día, lo que representa en el año 3644928 m³ de biogás a partir del residual utilizado
- **Purificación:** durante la purificación del biogás se elimina el dióxido de carbono, para elevar el poder calórico del combustible o sulfuro de hidrógeno, para evitar la corrosión de los metales en los equipos que se pongan en contacto con él. Generalmente la calidad con que se debe obtener el biogás está en función de su destino final, por ejemplo cuando se habla de biogás para producir energía eléctrica (objetivo de la investigación) se hace necesario eliminar la presencia del sulfuro de hidrógeno hasta un 0.01 %.
- **Compresión y almacenamiento: consta de un sistema de compresión** acoplado a una bala de almacenamiento, generalmente a una presión 15 atmósferas con su posterior conexión a válvulas reguladoras de presión en función de los requerimientos de cada tipo de consumidor. En el caso objeto de estudio se prescindirá esta etapa pues el objetivo es producir biogás para generar energía eléctrica con flujo continuo.
- **Generación de energía eléctrica: la producción de energía eléctrica a partir** del biogás como combustible, se realiza a través de motores de combustión interna, que trabajan con una eficiencia 25 % (Barreto Torrella, 2006).

En figura 2.1 se representa el diagrama de flujo dimensionado para la obtención de energía a partir de residuos de la UEB Central azucarero Melanio Hernández y la destilería “Paraíso”.

Capítulo 2. Fundamentación metodológica de la herramienta propuesta seleccionada para la determinación de la ruta de aprovisionamiento para plantas de biogás

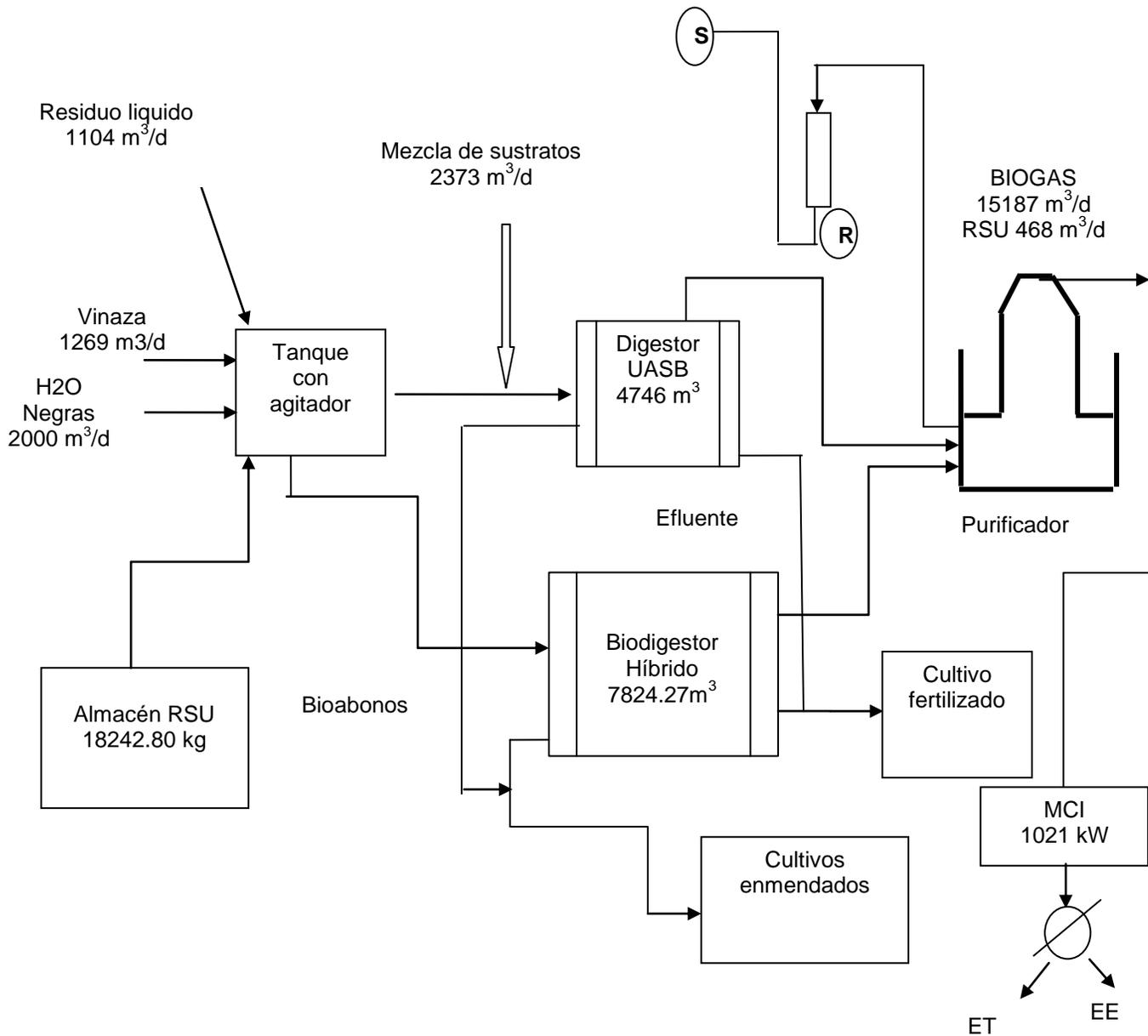


Figura 2.1 Diagrama de flujo dimensionado para la obtención de energía a partir de residuos de la UEB Central Azucarero Melanio Hernández.

Fuente: Saure Rodríguez 2010.

La autora considera pertinente la integración de datos obtenidos en investigaciones realizadas para la descripción de localización y del diseño tecnológico de la planta, por lo que descritas las mismas se procede a la fundamentación metodológica de la herramienta a utilizar para determinar la ruta factible de aprovisionamiento de la misma.

2.2 Fundamentación metodológica de la herramienta seleccionada, para determinar la ruta factible de aprovisionamiento de una planta de biogás

En consecuencia con lo planteado, la herramienta seleccionada, para determinar la ruta factible de aprovisionamiento de una planta de biogás es el procedimiento propuesto por Feíto Cespón 2007 (anexo 2), al cual se le realizan algunas adecuaciones pertinentes que le permitan ajustarse al entorno donde se desarrolla la investigación, la representación gráfica del mismo se puede observar en la figura 2.2 , seguidamente se describen las fases y etapas que lo integran, así como las posibles herramientas a utilizar en cada una de ellas.



Figura 2.2. Procedimiento para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento para plantas de biogás. **Fuente:** adaptado de Feíto Cepón 2005.

2.1 Conformación del equipo de trabajo y selección de expertos

Para el desarrollo del estudio una de las primeras actividades consiste en la conformación del equipo de trabajo, el cual tendrá como función la aplicación de las herramientas necesarias y el apoyo en la toma de decisiones en los casos necesarios. Para ello, deberá seleccionarse como miembros del equipo, personal con conocimientos

Capítulo 2. Fundamentación metodológica de la herramienta propuesta seleccionada para la determinación de la ruta de aprovisionamiento para plantas de biogás

sobre el proceso de obtención del biogás y logísticos específicamente en el tema de transporte.

Capaces de llevar a cabo las tareas siguientes:

- 1) Organizar y dirigir el trabajo investigativo de campo (Esta es una tarea específica del jefe del equipo de trabajo, siendo el máximo responsable).
- 2) Recopilar la información necesaria para desarrollar la investigación.

Cálculo y determinación de los expertos

El número de expertos **M** se determina empleando un método probabilístico y asumiendo una ley de probabilidad binomial

$$M = \frac{p*(1-p)*k}{i^2}$$

p: máximo error que se tolera en el juicio de los expertos

I: nivel de precisión a utilizar, recomiende entre 0.1 y 0.5

K: constante que cambia según el nivel de confianza

1- α	K
99	6.6564
95	3.8416
90	2.6896

Se plantea que el número de expertos debe variar entre 7 y 15. Se comprobará a continuación:

Si se considera:

$$p = 0.01 \quad 1 - \alpha = 0.99 \quad i = 0.10 \quad k = 6.6564 \quad M = 7$$

Si se considera:

$$p = 0.06 \quad 1 - \alpha = 0.90 \quad i = 0.10 \quad k = 2.6896 \quad M = 15$$

Pasos para la selección de los expertos:

1. Confeccionar un listado inicial de personas posibles de cumplir los requisitos para ser expertos en la materia a trabajar.
2. Realizar una valoración sobre el nivel de experiencia que poseen, evaluando de esta forma los niveles de conocimientos que poseen sobre la materia. Para ello se realiza una primera pregunta para una autoevaluación de los niveles de información y argumentación que tienen sobre el tema en cuestión. En la pregunta se les pide que marquen con una (X), en una escala creciente del 1 al 10, el valor que se corresponde con el grado de conocimiento o información (Tabla 2.1) que tienen sobre el tema a estudiar.
- 3.

Capítulo 2. Fundamentación metodológica de la herramienta propuesta seleccionada para la determinación de la ruta de aprovisionamiento para plantas de biogás

Tabla 2.1: Grado de conocimiento o información (Kc) de los expertos

Expertos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										

A partir de aquí se calcula fácilmente el coeficiente de conocimiento o información (Kc), a través de la siguiente fórmula:

$$Kc = n (0,1)$$

Donde:

Kc: Coeficiente de conocimiento o información

n: Rango seleccionado por el experto

- Se realiza una segunda pregunta que permite valorar un grupo de aspectos que influyen sobre el nivel de argumentación o fundamentación (Tabla 2.2.) del tema a estudiar.

Tabla 2.2: Nivel de Argumentación o fundamentación (Ka)

Fuentes de argumentación o fundamentación	Alto	Medio	Bajo
Análisis teóricos realizados por usted			
Su experiencia obtenida			
Trabajos de autores nacionales			
Trabajos de autores extranjeros			
Su conocimiento del estado del problema en el extranjero			
Su intuición			

- Aquí se determinan los aspectos de mayor influencia. A partir de estos valores reflejados por cada experto en la tabla se contrastan con los valores de una tabla patrón (Tabla 2.3):

Tabla 2.3: Nivel de argumentación o fundamentación (tabla patrón).

Fuentes de argumentación o fundamentación	Alto	Medio	Bajo
Análisis teóricos realizados por usted	0.3	0.2	0.1
Su experiencia obtenida	0.5	0.4	0.2

Capítulo 2. Fundamentación metodológica de la herramienta propuesta seleccionada para la determinación de la ruta de aprovisionamiento para plantas de biogás

Trabajos de autores nacionales	0.05	0.05	0.05
Trabajos de autores extranjeros	0.05	0.05	0.05
Su conocimiento del estado del problema en el extranjero	0.05	0.05	0.05
Su intuición	0.05	0.05	0.05

6. Los aspectos que influyen sobre el nivel de argumentación o fundamentación del tema a estudiar permiten calcular el coeficiente de argumentación (Ka) de cada experto:

$$K_a = \frac{a}{n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6}$$

Ka: Coeficiente de Argumentación

n_i Valor correspondiente a la fuente de argumentación i (1 hasta 6)

7. Una vez obtenido los valores del coeficiente de conocimiento (Kc) y el coeficiente de argumentación (Ka) se procede a obtener el valor del coeficiente de competencia (K) que finalmente es el coeficiente que determina en realidad qué experto se toma en consideración para trabajar en esta investigación. Este coeficiente (K) se calcula de la siguiente forma:

$$K = 0,5 (K_c + K_a)$$

Donde:

K: Coeficiente de competencia

Kc: Coeficiente de conocimiento

Ka: Coeficiente de argumentación

8. Posteriormente obtenido los resultados se valoran de la manera siguiente:

0,8 < K < 1,0 Coeficiente de competencia Alto

0,5 < K < 0,8 Coeficiente de competencia Medio

K < 0,5 Coeficiente de competencia Bajo

9. Se debe utilizar para consultar a expertos de competencia alta, no obstante puede valorarse la utilización de expertos de competencia media, en caso de que el coeficiente de competencia promedio de todos los posibles expertos sea alto, pero nunca se utilizará expertos de competencia baja.

2.2.2. Determinación de las demanda de la planta

La estimación de la demanda tiende a ser de una naturaleza de corto plazo al referirse a un producto específico. Los pronósticos que llevan a estas decisiones deben satisfacer los mismos requisitos que los pronósticos para la programación a corto plazo: deben tener un alto nivel de exactitud y ser específico para cada producto. Para ello, con frecuencia se utilizan sistemas computarizados de pronósticos para este tipo de decisiones. (Schroeder, 1995) El pronóstico de la demanda se hace para varios productos mediante grupos de estos como A, B y C; los productos A son los productos que más aportan beneficios a las ventas totales por lo cual se les debe tener más en cuenta en la determinación del pronóstico; en el presente caso esto no es necesario pues es una producción única. Para el desarrollo de esta etapa es preciso recopilar información relacionada con las ventas que han tenido históricamente la empresa campo de acción, pero siendo más específico en la actual investigación se puede obtener datos sobre los consumos de energía actuales en la región o demanda energética para intervalos de tiempos definidos, la cual permite hacer un pronóstico de consumo. Utilizando la herramienta Forecasting del programa WinQSB se llega a evaluar las alternativas de solución escogiendo el mejor método de pronóstico.

Cuando se utilizan los métodos de pronósticos debe calcularse una estimación del error de previsión junto con el método de pronóstico. Una medida de uso común para determinar el error de previsión es la desviación absoluta promedio o MAD (Mean Absolute Deviation). La MAD se define matemáticamente como sigue:

$$MAD = \frac{\sum |D_i - F_i|}{n} \quad (2.12)$$

Donde:

MAD: Error promedio observado.

$|D_i - F_i|$: Valor absoluto del error en el período t

n: Número de períodos.

La expresión anterior es el error promedio observado, sin considerar su signo positivo o negativo, entre todos los períodos pasados de pronósticos.

Capítulo 2. Fundamentación metodológica de la herramienta propuesta seleccionada para la determinación de la ruta de aprovisionamiento para plantas de biogás

Para la selección de los modelos de pronósticos, cuando se prueban modelos diferentes, con frecuencia el modelo que mejor se ajusta a los datos históricos (el que tiene menor margen de error) es el mejor modelo de predicción.

2.2.3. Determinación de los nodos o proveedores y la ubicación geográfica

A partir de la información obtenida de la bibliografía analizada, la presente etapa tiene como objetivo determinar los proveedores a utilizar en la producción de biogás con fines energéticos para el objeto de estudio seleccionado y la ubicación geográfica de cada uno ellos. Integrando los estudios realizados sobre el tema tratado en investigaciones anteriores, la autora considera adecuado utilizar el procedimiento específico propuesto por (Oria Gómez, 2010) representado en la figura 2.3

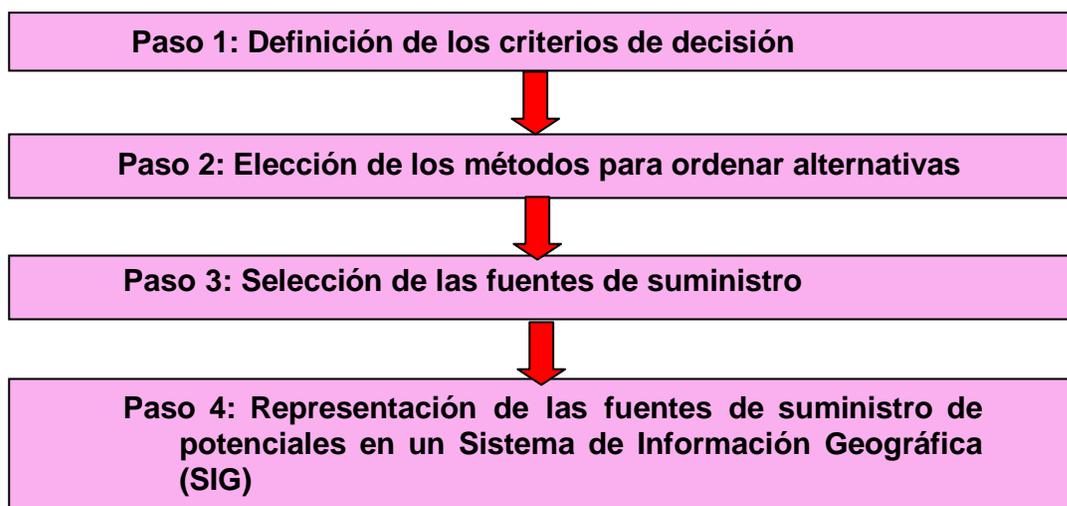


Figura 2.3 Procedimiento específico para evaluar y representar geográficamente de las fuentes de suministro. **Fuente:** Oria Gómez 2010.

La ejecución de sus pasos se desarrolla como se describe a continuación:

Paso 1: Definición de los criterios de decisión

Los criterios que se analizan son los establecidos por Cespón Castro y Amador Orellana 2003, que sugieren el análisis de una gran cantidad de cualidades o características de estos, entre las cuales se destacan: precios, entregas a tiempo, calidad de los suministros, ayuda en emergencias, comunicaciones, ideas de reducción de costos, fiabilidad del proveedor, servicio, garantía que ofrecen, variedad de insumos que puede suministrar, volumen de insumo de cada tipo capaz de suministrar, entre otros para así asegurar la selección del mejor integralmente mediante el proceso de toma de decisiones. Para definir los criterios a utilizar se

propone la utilización de los expertos, aunque también se pueden obtener con la aplicación del diagrama de Pareto.

Paso 2: Elección de los métodos para ordenar alternativas

La eficacia del aprovisionamiento depende en gran medida de la adecuada selección de los proveedores, considerando los criterios obtenidos en la literatura podemos encontrar varios métodos que permiten seleccionar las mejores o mejor alternativa, dentro de ellos los métodos multicriterios son referenciados en muchos casos como aquellos que contribuyen al proceso de toma de decisiones, se caracterizan por la selección de alternativas en presencia de criterios múltiples.

Paso 3: Selección de las fuentes de suministro

Por lo planteado anteriormente, para la realización de esta investigación se asume aplicar el método de los factores ponderados, para seleccionar las mejores alternativas o sea las fuentes de suministro de potenciales de residuos orgánicos; el mismo consta, de los pasos siguientes:

1-Definir alternativas y criterios: Las alternativas serían las fuentes de suministro de potenciales obtenidos en el inventario de investigaciones realizadas y los criterios serían los obtenidos en el paso **2**

2- Homogenizar los criterios de decisión: Se deben llevar todos a máximo o a mínimo en dependencia del problema que se trate.

3- Normalizar los criterios de decisión: Puede ser por varios métodos aunque se recomienda el propuesto en la expresión 2.1 por su sencillez.

$$V = \frac{A_i}{\max A_i} \quad (2.1)$$

4-Calcular el peso de los criterios: Existen varios métodos para establecer la importancia relativa o pesos de los criterios, estos pueden ser objetivos y subjetivos.

Entre los métodos de cálculo subjetivos se encuentran el Triángulo de Füller, Ordenación Simple, Asignación probabilística de Rietveld, AHP de Saaty, Tasación Simple, Comparaciones sucesivas y Asignación directa por ratios; estos métodos permiten tener en cuenta las preferencias del decisor de un criterio respecto a otro.

Entre los métodos objetivos se encuentran el Método de Diakoulaki y el de la Entropía que solo tiene en cuenta los valores de $V_{i,j}$, obviando las preferencias que el decisor

tiene de un criterio respecto a otro.

Por las características de cada método antes mencionadas es que se debe realizar la combinación de ambos pesos y para ello se utiliza la expresión 2.2 (Marrero Delgado, 2001).

$$W_j = \frac{w_j^s * w_j^o}{\sum_j w_j^s * w_j^{o \forall j}} \quad (2.2)$$

Donde:

W_j^s Componente subjetiva (peso subjetivo)

W_j^o Componente objetiva (peso objetivo)

5-Determinar las mejores alternativas: Puede ser por varios métodos, en este caso se aplica el de la suma ponderada o utilidad aditiva. (Ecuación 2.3)

$$S_j = \sum_j W_j * N_{ij} \quad (2.3)$$

Se van sumando por filas y luego se escogen los valores mayores o menores de S_j que serían en este caso los potenciales principales de residuos orgánicos disponibles en la provincia.

Paso 4: Representación de las fuentes de suministro potenciales y ubicación en un Sistema de Información Geográfica (SIG)

La mayor utilidad de un SIG está íntimamente relacionada con la capacidad que posee éste de construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales, esto se logra aplicando una serie de procedimientos específicos que generan aún más información para el análisis (Carmona A y Monsalve, 2009).

En este paso se representan en un Sistema de Información Geográfico (SIG) las alternativas seleccionadas en el paso anterior, que serían las fuentes de suministro de potenciales de residuos orgánicos para producir biogás con fines energéticos (Oria Gómez, 2010).

Capítulo 2. Fundamentación metodológica de la herramienta propuesta seleccionada para la determinación de la ruta de aprovisionamiento para plantas de biogás

Para hacer la representación geográfica de los principales potenciales de residuos orgánicos se utilizó como herramienta el MapInfo, perteneciente al grupo de Sistemas de Información Geográficos.

2.2.4 Recogida de la información y cálculo de la ruta

El objetivo de la presente fase consiste en obtener y desarrollar una ruta de recorrido, de manera que permita a el aprovisionamiento de la planta con un menor gasto de tiempo y minimizando el recorrido.

Para ello uno de los aspectos fundamentales consiste en la diagramación de las principales rutas para lo cual se propone el procedimiento específico, mostrado en la figura 2.4.

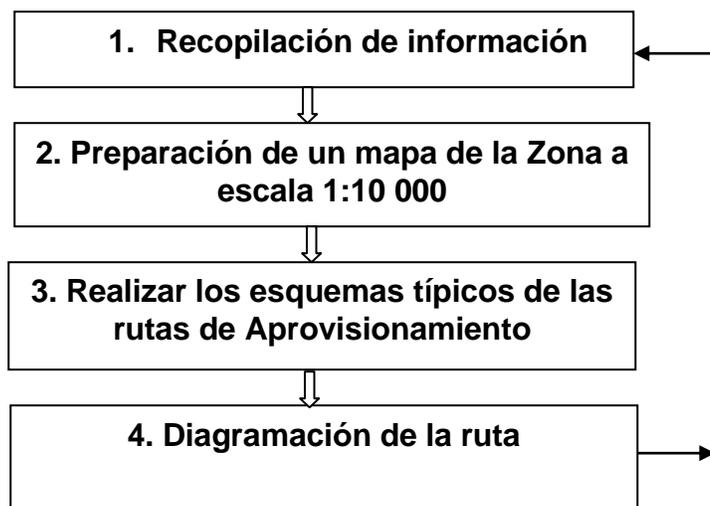


Figura 2.4: Procedimiento específico para diagramación de las principales rutas de aprovisionamiento **Fuente:** elaboración propia

1. Recopilación de la información

Los datos que se requieren en este análisis son:

1. Lugar del parqueo.
2. Lugar de disposición final de los sustratos
3. Características del sustrato a transportar.
4. Sentidos de circulación de las calles.
5. Hora de mayor congestión de tránsito.
6. Topografía.
7. Vías servibles y vías no servibles.
8. Tipo y cantidad de transporte

9. Distancia entre proveedores y la planta.

2. Preparación de un mapa de la ciudad a escala 1 :10 000

Utilizar técnicas mencionadas mediante la aplicación de software destinados a la actividad para lograr obtener una representación a escala de la zona de trabajo. Donde se visualicen los posibles proveedores y el área de depósito en la planta, del cual se puedan obtener las distancias a recorrer.

3. Realizar los esquemas típicos de las rutas de recolección

Apoyados por las soluciones obtenidas mediante la aplicación de softwares como el WinQSB, Logware o el Anthill entre otros, utilizados para este tipo problemas. Es necesario realizar dos o más ensayos para conseguir las rutas más oportunas. Se pueden obtener varias alternativas de rutas en un mismo sector, por lo que es necesario verificar y evaluar en los pasos siguientes del procedimiento cual será la mejor ruta a utilizar.

Métodos matemáticos

Los métodos determinísticos son los más recomendables, en ellos se pueden involucrar todos los parámetros que inciden en el diseño de las rutas de aprovisionamiento, además con estos métodos se obtienen rutas factibles, es decir, rutas en las que a costo y tiempo mínimo se transporta la máxima cantidad de sustratos posible.

Entre los métodos determinísticos más usados para el diseño de las microrutas son: Algoritmo del problema del agente viajero, utilizado para diseñar rutas empleando el método de contenedores y el algoritmo de optimización mediante colonia de hormigas (anthill).

a) Algoritmo del agente viajero

Es un método muy conocido y utilizado para definir rutas de distribución o recolección. Su característica fundamental está dada en considerar las distancias entre los diferentes puntos a distribuir, estableciendo secuencias de recorrido. Existe una gran cantidad de variantes de este procedimiento, muchas de las cuales pueden considerarse como métodos de optimización, aplicables fundamentalmente cuando no son muchos los puntos a distribuir. Sin embargo, la complejidad de las mismas y la limitación en cuanto al número de puntos, hizo que se desarrollaran toda una gama de procedimientos basados en reglas heurísticas, que si bien no siempre ofrecen un

Capítulo 2. Fundamentación metodológica de la herramienta propuesta seleccionada para la determinación de la ruta de aprovisionamiento para plantas de biogás

resultado óptimo, si permiten lograr buenos resultados de una manera mucho más rápida (Cespón Castro, R. & Auxiliadora, María, 2003).

Matemáticamente el problema del agente viajero se expresa de la siguiente forma:

Dada una red o un grafo con costos asociados a cada arco, encontrar un circuito (e_1, e_2, \dots, e_n) que visite cada vértice o nodo por lo menos una vez y que minimice la suma de los costos:

$$\Sigma = \sum_{i=1}^n w(e_i)$$

Donde e_i es el arco i y $w(e_i)$ es el costo, distancia o tiempo de utilizado.

Grafo: es la representación gráfica de la relación entre varios vértices que se encuentran separados uno del otro, también se les puede denominar como redes (Sedesol, 1997).

El grafo está compuesto por nodos y arcos.

- Los nodos son los puntos principales o vértices, en este caso serían los puntos en donde el camión recolecta los sustratos.
- Los arcos son las relaciones que se dan entre dos nodos. En este caso es la ruta que existe para ir de la planta al proveedor. Generalmente estos arcos tienen un valor que se identifica con costo, distancia, capacidad de flujo, etc. El grafo con dos arcos no dirigidos es aquel en el que no existe una dirección específica, lo cual significa que puede ir en una dirección o en otra.

Los parámetros de diseño que se utilizarán son los siguientes:

- a) El número de proveedores dentro de la zona
- b) El tiempo estándar para cargar los sustratos.
- c) El tiempo para transitar en la ruta y entre dos paradas fijas. Es importante recordar que estos tiempos dependen de la longitud de la ruta, de la topografía de la zona y de la intensidad del tráfico en las calles.
- d) Los tiempos consumidos en transitar del parqueo a la ruta y de ésta al sitio de disposición final. En el primer caso se refiere a cuando la ruta en diseño es la primera o cuando se regresa a la ruta y en el segundo si son rutas subsecuentes.
- e) Los tiempos consumidos para revisión del camión en el sitio del parqueo y para descargar los sustratos (sitio de disposición final).
- f) El tiempo necesario del vehículo para llegar de un punto "a" a un punto "b" puede no ser el mismo para ir de "b" a "a", dependiendo si la calle es de doble sentido o

Capítulo 2. Fundamentación metodológica de la herramienta propuesta seleccionada para la determinación de la ruta de aprovisionamiento para plantas de biogás

de un solo sentido de circulación o si la calle tiene pendiente, se recorre a favor o en contra de dicha pendiente.

Se supone que todos los tiempos de tránsito en la ruta y de carga de sustratos son conocidos con certeza. En caso contrario deberán hacerse estudios de tiempo y movimiento aplicando las herramientas pertinentes para estos casos. El algoritmo Anthill descrito en capítulo I de la presente investigación representado en la figura 2.4, utiliza el software *Anthill v0.1* Este programa requiere para su funcionamiento del Microsoft .Net Framework v2.

Los datos necesarios para el funcionamiento del software propuesto son:

El parámetro grafo (N_{if}) está dado por la distancias entre los nodos, que no es más que las distancias entre los puntos de aprovisionamiento, así como la longitud entre los propios puntos y “la planta de biogás”

La cantidad de hormigas se selecciona en dependencia del tamaño de la matriz y del grado de exactitud que se quiera.

El coeficiente de evaporación de feromona se selecciona previamente y se basa en cuán rápido se quiere que se evapore la feromona, dicha evaporación es inversamente proporcional a la exactitud del resultado.

El comportamiento de la colonia de hormigas está dado por el tipo de problema que se quiera resolver, ya sea “Camino mínimo” o “TSP”.

La fuente constituye el punto de partida que en la mayoría de los casos será “la planta de biogás”.

El destino, está dado por los puntos de aprovisionamiento a los que se quiera ir o por la propia “planta de biogás” en dependencia del comportamiento seleccionado.

2.2.5. Fase 5: Implementación de las rutas, seguimiento y control de las rutas

Esta fase cuenta de dos etapas la elaboración del programa de implementación y seguimiento y control de las rutas. Para poder garantizar el funcionamiento estable y coordinado de las principales rutas de aprovisionamiento se debe elaborar un programa de implementación. En el mismo se deben detallar todas las actividades a ejecutar antes y durante el funcionamiento de las principales rutas verificadas. Puede ser planificadas mediante el software Microsoft project.

Seguimiento y control de las rutas

Capítulo 2. Fundamentación metodológica de la herramienta propuesta seleccionada para la determinación de la ruta de aprovisionamiento para plantas de biogás

En esta etapa se le da el seguimiento requerido a las principales rutas comprobando todos los indicadores establecidos para el control en cada uno de los procesos logísticos de la cadena y en la ruta de aprovisionamiento en particular. Si no existen desviaciones al controlar los indicadores entonces la ruta sigue funcionando de forma estable y coordinada. En caso de que se detecte alguna desviación se seguiría la retroalimentación prevista en la figura 2.2, la cual establece la posibilidad de verificar el diseño de la ruta haciendo los cambios pertinentes.

2.3 Conclusiones parciales

1. Se logra complementar los objetivos específicos de la investigación al fundamentar metodológicamente cada una de las fases y etapas del procedimiento elegido para determinar la ruta factible de aprovisionamiento para la planta de biogás objeto de estudio.
2. La estructuración del procedimiento general seleccionado para determinar la ruta factible de aprovisionamiento para plantas de biogás muestra consistencia lógica y flexibilidad necesaria, permitiendo llevar a cabo un proceso complejo de forma relativamente sencilla y destaca su carácter práctico.

Capítulo 3. Implementación del procedimiento seleccionado para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento para una planta de biogás en la UEB Central Azucarero “Melanio Hernández”

Introducción

Complementando los objetivos específicos propuesto en la introducción de la presente investigación, en este capítulo se determina la ruta factible de aprovisionamiento para una planta de biogás, en la UEB central Azucarero Melanio Hernández. Mediante la implementación de la herramienta seleccionada y de esta forma contribuir a la solución del problema científico en el objeto de estudio. De acuerdo a lo planteado en el procedimiento comienza con la selección de los expertos necesario para la toma de decisiones implicadas durante el proceso y luego se procede con la ejecución de las demás fases que le preceden hasta lograr la implementación de la ruta factible, integrando el objetivo general del trabajo realizado.

3.1 Determinación de la cantidad de expertos

Para la selección del grupo de expertos. Tomando una proporción estimada de error de los expertos de 0.01, un nivel de precisión de 0.1 y un valor de la constante K de 6.6564 para un 99% de nivel de confianza, al aplicar la expresión 1.1 se obtiene que:

$$n=0.01*(1-0.01)*6.6564/ 0.01= 6.58 \approx 7$$

El siguiente paso corresponde a la valoración sobre el nivel de experiencia que poseen los expertos, evaluando los niveles de conocimientos que poseen sobre el tema tratado. Utilizando para ello como se explica en el capítulo II una autoevaluación de los niveles de información y argumentación que tienen sobre el tema en función. En la tabla 3.1 se muestra el grado de conocimiento o información que tienen sobre el tema a estudiar.

Tabla 3.1 Grado de conocimiento o información de los expertos.

Expertos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Valor de Kc
1										x		0,9
2										x		0,9
3											x	1
4											x	1
5										x		0,9

Capítulo 3. Implementación del procedimiento seleccionado para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento para una planta de biogás en la UEB Central Azucarero “Melanio Hernández”

6										x		0.9
7										x		0.8

Fuente: elaboración propia.

Continuando con el procedimiento en la tabla 3.2, se determina el coeficiente de argumentación (Ka) donde el experto marca con una x cuál de las fuentes mostradas ha influido más en su conocimiento de acuerdo con los niveles altos (A), medio M y bajo (B).

Tabla 3.2 Nivel de Argumentación o fundamentación

	Expertos																				
	1			2			3			4			5			6			7		
	A	M	B	A	M	B	A	M	B	A	M	B	A	M	B	A	M	B	A	M	B
1. Análisis Teóricos Realizados	x			X			X			X			X			X			x		
2. Experiencia obtenida	x				x			x		X			x			X			x		
3. Trabajos de autores nacionales.		x		X				X	X			X								X	
4. Trabajos de autores Extranjeros.			x			x		X	X			X						x		X	
5. Conocimiento del estado actual del problema en el extranjero			x		x		X				X		X					x		X	
6. Intuición	X				x			X	X			X			x				X		

Fuente: elaboración propia.

A partir de estos valores reflejados por cada experto en la tabla se contrastan con los valores de una tabla patrón y se calcularon los valores de Ka, a continuación se muestran los resultados:

$$Ka_1 = 0.3+0.5+0.05+0.05+0.05+0.05 = 1$$

$$Ka_2 = 0.3+0.4+0.05+0.05+0.05+0.05 = 0.9$$

$$Ka_3 = 0.2+0.4+0.05+0.05+0.05+0.05 = 0.8$$

$$Ka_4 = 0.2+0.5+0.05+0.05+0.05+0.05 = 0.9$$

$$Ka_5 = 0.3+0.5+0.05+0.05+0.05+0.05 = 1$$

$$Ka_6 = 0.3+0.4+0.05+0.05+0.05+0.05 = 0.9$$

$$Ka_7 = 0.3+0.5+0.05+0.05+0.05+0.05 = 0.9$$

Capítulo 3. Implementación del procedimiento seleccionado para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento para una planta de biogás en la UEB Central Azucarero “Melanio Hernández”

Obtenidos los valores de K_c y K_a se procede a obtener el valor del coeficiente de competencia (K) el cual determina si el experto puede o no utilizarse en el estudio, la tabla 3.3 muestra los resultados obtenidos

Tabla 3.3 Determinación de los valores del coeficiente de competencia de los expertos.

Valores de K	Valoración de resultados
$K_1 = (0.9+1)/2 = 0.95$	coeficiente de competencia alto
$K_2 = (0.9+0.9)/2 = 0.90$	coeficiente de competencia alto
$K_3 = (1+0.8)/2 = 0.90$	coeficiente de competencia alto
$K_4 = (1+0.9)/2 = 0.95$	coeficiente de competencia alto
$K_5 = (0.9+1)/2 = 0.95$	coeficiente de competencia alto
$K_6 = (0.9+0.9)/2 = 0.90$	coeficiente de competencia alto
$K_7 = (0.9+0.9)/2 = 0.90$	coeficiente de competencia alto

Fuente: elaboración propia.

Obtenidos los resultados se valoran de la manera siguiente:

$0,8 < K < 1,0$ coeficiente de competencia alto

$0,5 < K < 0,8$ coeficiente de competencia medio

$K < 0,5$ coeficiente de competencia bajo

Cuando se termina el proceso de selección, el grupo de expertos evaluado queda conformado por:

Orestes Hermida García	Especialistas para producción de biogás en el MININT
Douglas García Gómez	Profesor Universidad
Armando Cordero García	Director económico de comunales Sancti Spíritus
José Pérez Luna	Especialista en energía UEB Melanio Hernández
Carlos Ceja Martínez	Director de la ECIE
Julio Mencia Fernández	Presidente de la Sociedad Provincial Logística
Deisy Álvarez Rodríguez	Especialista de energía del MININT

3.2. Determinación de las demanda de la planta

En la actualidad la producción de energía se han dirigido fundamentalmente a satisfacer las necesidades crecientes de los clientes, los que por sí solos generan una demanda creciente sea del sector industrial o particular en general. Esta demanda puede

Capítulo 3. Implementación del procedimiento seleccionado para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento para una planta de biogás en la UEB Central Azucarero “Melanio Hernández”

conocerse generalmente por dos vías: a través de métodos cualitativos mediante la aplicación de estudios para determinar el comportamiento del mercado, o métodos cuantitativos si se tiene un historial de consumo para la región específica en harás de acotar el estudio.

En la presente etapa se aborda la previsión de los consumos energético que puede ser satisfecho mediante la producción de biogás, utilizando la técnica de pronósticos sobre la base de un historial de consumo, para ello los métodos que se utilizarán son: Media Móvil, Media Móvil Ponderada y Alisado Exponencial. Estas se sirven del modelo seguido en el pasado por la demanda, es decir, la demanda futura se estima en base, únicamente, a los datos que se poseen sobre el consumo energético de la región; la herramienta utilizada para llegar a conclusiones es el programa **WinQSB**.

Para el análisis se toma el comportamiento del consumo de energía promedio por horas al día para año 2014 del poblado donde se encuentra situada la planta, tomando en consideración a partir del mes de mayo, meses en los cuales el central no se encuentra operando y es necesario suministrar la planta de biogás desde otras fuentes, de la provincia. Figura 3.1.

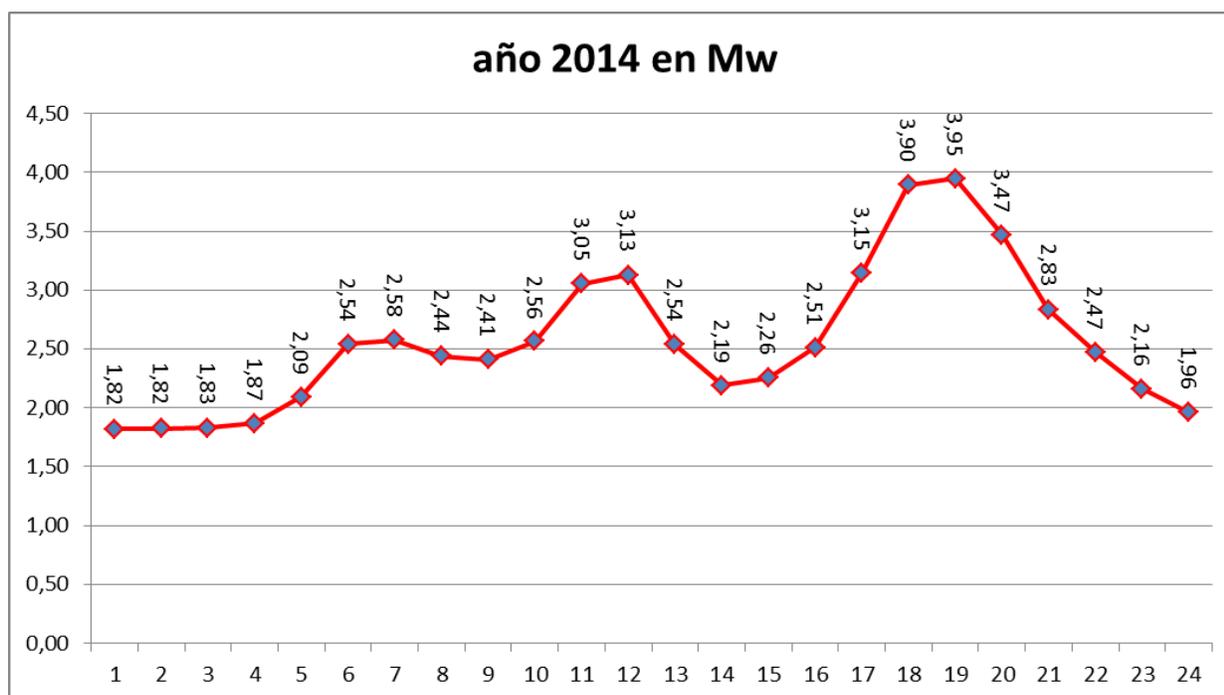


Figura 3.1. Consumo promedio de energía eléctrica por horas al día en el año 2014.

Fuente: registro de consumo eléctrico OBE provincial Sancti Spíritus.

Capítulo 3. Implementación del procedimiento seleccionado para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento para una planta de biogás en la UEB Central Azucarero “Melanio Hernández”

De acuerdo a las consultas realizadas se tienen tres variantes para la incorporación de energía a red nacional:

1. Generar 24 horas con una demanda promedio constante, sincronizado con el SEN.
2. Generar en los horarios de incremento de la demanda
3. Generar en horarios de la máxima demanda

Para la continuación de la presente investigación y en correspondencia con el criterio de los expertos se decide utilizar la variante tres.

Para obtener los horarios de mayor consumo se procede a realizar una estratificación mediante la aplicación del método de Pareto, en la figura 3.2 se muestran los resultados obtenidos.

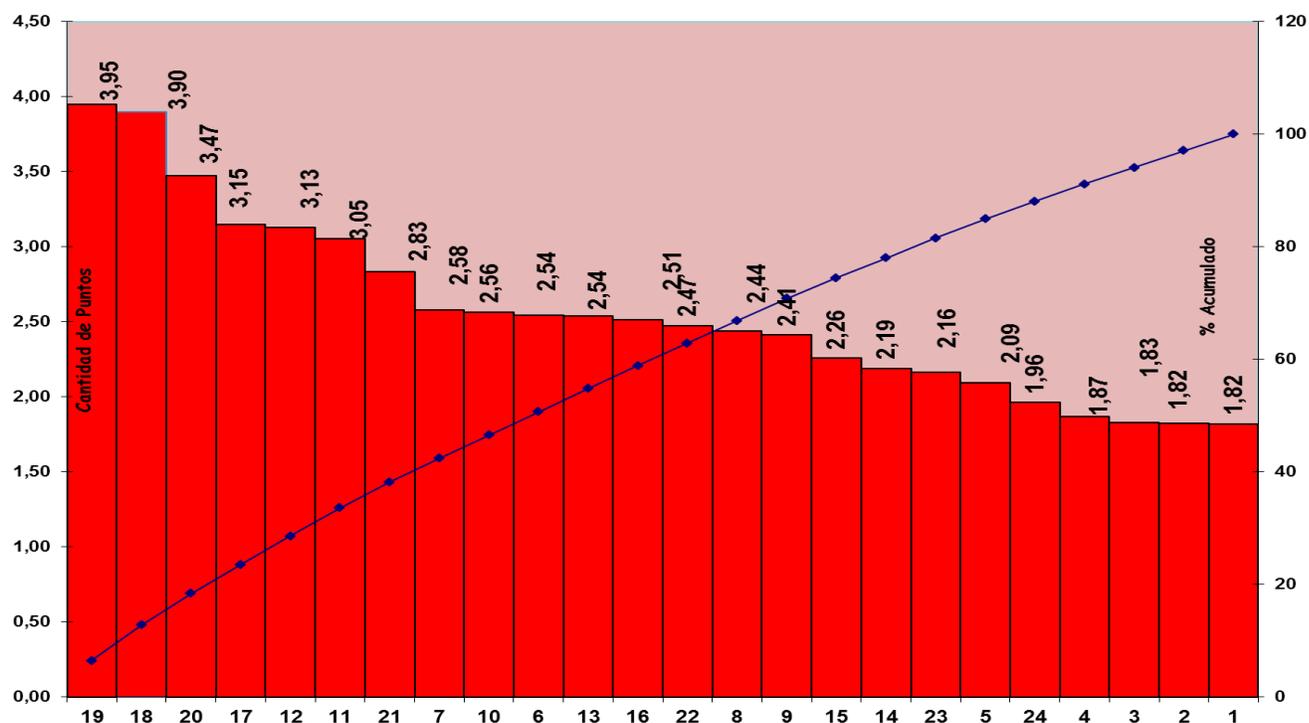


Figura 3.2. Selección de los horarios de mayor consumo energético. **Fuente** elaboración propia.

Del análisis anterior se derivan que los horarios de mayor consumo son entre 17:00 y las 21:00 horas. Por lo tanto se propone como base para estimar la demanda el

Capítulo 3. Implementación del procedimiento seleccionado para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento para una planta de biogás en la UEB Central Azucarero “Melanio Hernández”

consumo promedio en estos horarios para los meses seleccionados (mayo a diciembre 2014).

Es necesario señalar que el pronóstico obtenido se convertirá en la base de cálculo para estimar los inventarios de sustratos a suministrar de acuerdo a las características de generativas de los mismos, entre otros criterios.

Los resultados obtenidos de la salida del programa **WinQSB** se exponen en la tabla 3.4.

Tabla No. 3.4. Pronóstico de la demanda de energía

Resultados Forecasting pronóstico de consumo energía año 2015					
	Actual	Forecast by	Forecast by	Forecast by	Forecast by
Month	Data	SA	1-MA	1-WMA	SES
1	2162.14				
2	2196.6	2162.14	2162.14	2162.14	2162.14
3	2173	2179.37	2196.6	2196.6	2196.25
4	1991.69	2177.24	2173	2173	2173.23
5	2175.02	2130.85	1991.69	1991.69	1993.50
6	2184.82	2139.69	2175.02	2175.02	2173.20
7	2131.89	2147.21	2184.82	2184.82	2184.70
8	2196.6	2145.02	2131.89	2131.89	2132.41
X̄		2151.47	2196.6	2196	2195.95
MAD		54.654	78.5915	78.5915	78.4835
MSE		6077.355	10758.97	10758.97	10668.18
MAPE		2.6201	3.7234	3.7234	3.7186
Trk.Signal		-0.5840	0.4384	0.4384	0.4352
R-square		7.0437	0.93	0.9368	0.9147
			m=1	m=1	Alpha=0,99
				W(1)=1	F(0)=2162.14

Fuente: elaboración propia

El pronóstico seleccionado es el obtenido por el método de promedio simple por presentar el menor MAD = 54.654. Por tanto, los pronósticos para los meses de interés en el año 2015 son los mostrados en la tabla 3.5.

Tabla No. 3.5. Pronóstico de consumo de energía en kW/h para el poblado de Tuinucú meses seleccionado año 2015.

Mes	Pronóstico
Mayo	2162.14

Capítulo 3. Implementación del procedimiento seleccionado para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento para una planta de biogás en la UEB Central Azucarero “Melanio Hernández”

Junio	2179.37
Julio	2177.24
agosto	2130.85
Septiembre	2139.69
Octubre	2147.21
Noviembre	2145.02
Diciembre	2162.14

Fuente: elaboración propia

3.3. Determinación de los nodos o proveedores y la ubicación geográfica

Estimados los pronósticos de demanda para la planta en la presente etapa se procede a determinar las fuentes de suministros de las materias primas que serán consideradas como nodos o proveedores y la ubicación geográfica de las mismas.

El pronóstico de la demanda mensual para año 2015. Se relaciona en la tabla 3.4 con la cantidad de biogás necesario para su generación considerando para ello los parámetros expuestos en el anexo 4, donde para generar el consumo promedio de 2153.3 kW/d se debe instalar un generador de potencia igual a 1021 kW, con gasto de 383 m³/h con un índice de transferencia de 6.5 kwh/m³ de biogás, correspondiente a experiencias de plantas Alemanas.

Integrando los resultados del estudio realizado por Oria Gómez a la presente investigación, en la cual se plantea que las principales fuentes de suministros son: la cachaza, las excretas porcinas, la vinaza y los residuos sólidos urbanos en lo adelante RSU. Considerando que las excretas porcinas no pueden ser trasladadas según lo dispuesto en las regulaciones ambientales vigentes y la cachaza se obtiene en los meses de molienda, se utiliza en la investigación la generación a partir de los RSU, con factor de conversión de 0.76 m³/kg.

Tabla 3.7. Cantidad de sustrato necesario para la generación de energía.

Meses	Pronostico de consumo en kW	Cantidad de biogás a utilizar en m3	Cantidad de RSU
Mayo	2162.14	14053,91	18299,36
Junio	2179.37	14165,905	18445,19
Julio	2177.24	14152,06	18427,16
agosto	2130.85	13850,525	18034,54

Capítulo 3. Implementación del procedimiento seleccionado para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento para una planta de biogás en la UEB Central Azucarero “Melanio Hernández”

Septiembre	2139.69	13907,985	18109,36
Octubre	2147.21	13956,865	18173,00
Noviembre	2145.02	13942,63	18154,47
Diciembre	2162.14	14053,91	18299,36

Fuente: elaboración propia

De lo anterior se deriva como principal fuente de suministro las empresas de comunales municipales encargadas de la recogida de RSU. Conociéndose que la cantidad necesaria de sustrato total para la generación de la energía necesaria es de 127643,07 kg /año, muy inferior a la cantidad de RSU generados por la provincia en un año de 2611780 Kg/ año, según fuentes bibliográficas, por lo que se procede a seleccionar las alternativas factibles, mediante la aplicación de métodos multicriterios.

Paso 1: Definición de los criterios de decisión

Varios autores han planteado que la utilización de técnicas cuantitativas no es suficiente para la adecuada selección de soluciones debido a la variabilidad de las situaciones. De ahí la importancia de buscar métodos para integrar a estos resultados la experiencia y conocimientos de un grupo de personas considerados “expertos” en la temática que se está abordando.

En presente el presente paso para definir los criterios de decisión en la selección de los proveedores de la planta de biogás, se decide considerar como criterios iniciales los planteados por Oria Gómez en su investigación, incrementados por otros criterios como resultado de tormentas de ideas aplicadas, la lista obtenida es la siguiente:

- A. Volumen de sustrato generado
- B. Flexibilidad del proveedor
- C. NSC brindado
- D. Estado del vial
- E. Distancia hasta la planta
- F. Disponibilidad de transporte
- G. Condiciones de transportación

Estos son sometidos a criterio de los expertos para organizarlos de acuerdo a su nivel de importancia, mediante la confección de la matriz de rango, con los resultados de la valoración que los mismos dan, se otorgaron calificaciones que oscilan entre 1 y 5 a cada criterio de los problemas, siendo los valores más altos los correspondientes a

Capítulo 3. Implementación del procedimiento seleccionado para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento para una planta de biogás en la UEB Central Azucarero “Melanio Hernández”

aquellos que consideran de mayor importancia. Estos resultados aparecen en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Nivel de importancia de los criterios de decisión según los expertos.

Expertos											
Criterios	1	2	3	4	5	6	7	$\sum A_{ij}$	τ	Δ	Δ^2
A	5	4	5	3	5	4	4	30	28	2	4
B	1	1	1	2	2	1	1	9	28	-19	361
C	5	2	2	5	4	4	3	25	28	-3	9
D	1	1	1	2	2	2	3	12	28	-16	256
E	5	5	5	4	3	3	4	29	28	1	1
F	2	2	3	3	4	3	3	20	28	-8	64
G	2	2	3	2	1	1	2	13	28	-15	225

Fuente: elaboración propia.

Para determinar la confiabilidad de los datos obtenidos, se utiliza el coeficiente de concordancia de Kendall:

$$W = \frac{12 \sum (\Delta^2)}{M^2(k^3 - k)}$$

$$W = \frac{12(920)}{7^2(7^3 - 7)} = 0.670$$

Por tanto como $K=7$; $K \geq 7$ se toman los valores de chi-cuadrado

$$(x^2)_{calculada} \quad x^2 = M(k-1)W$$

$$x^2 = 7(7-1)0.67$$

$$x^2 = 42 * 0.67 = 28.14$$

$$(x^2)_{tabulada} \quad x^2(a, k-1)$$

$$x^2(0.01; 7-1) = 15.81$$

RC: $x^2 \geq x^2(a, k-1)$; entonces se rechaza la hipótesis nula (H_0).

$$(calculada \geq tabulada)$$

Capítulo 3. Implementación del procedimiento seleccionado para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento para una planta de biogás en la UEB Central Azucarero “Melanio Hernández”

Por tanto el juicio de los expertos es consistente y los resultados confiables para continuar el desarrollo del estudio.

Considerando el orden de importancia otorgado por los expertos y mediante la aplicación de Pareto se procede a seleccionar los criterios de decisión. En la figura 3.3 observan los resultados obtenidos.

Del análisis de Pareto se tienen que los criterios de decisión vitales para ser utilizados en la continuación de la investigación son:

- F. Volumen de sustrato generado
- A. Distancia hasta la planta
- B. NSC brindado
- G. Disponibilidad de transporte

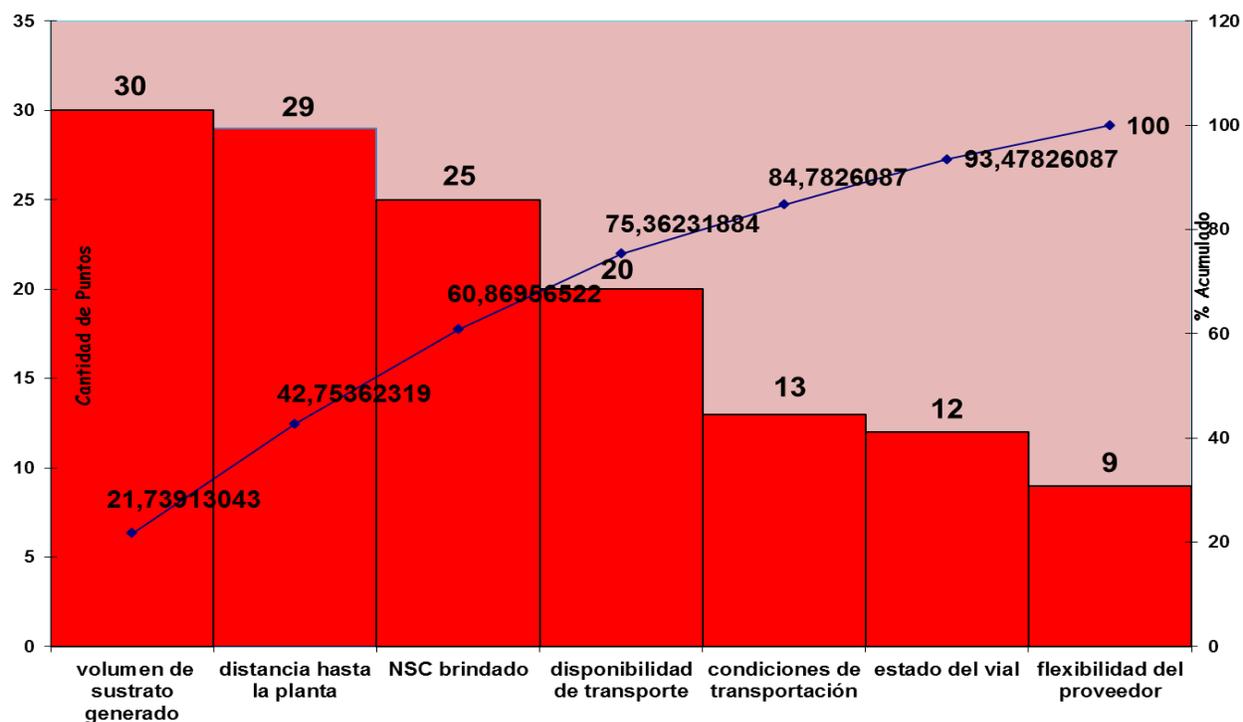


Figura 3.3. Selección de los criterios de decisión. **Fuente:** elaboración propia.

Capítulo 3. Implementación del procedimiento seleccionado para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento para una planta de biogás en la UEB Central Azucarero “Melanio Hernández”

Paso 2: Elección de los métodos para ordenar alternativas

Para la selección de las alternativas o proveedores se utiliza los métodos multicriterios, con la combinación de carácter tanto objetivo como subjetivo para la determinación de los pesos, específicamente se aplican los métodos de tasación simple y entropía para su cálculos.

Paso 3: Selección de las fuentes de suministro

Como resultados de los cálculos realizados se tienen como alternativas de suministro las UEB de comunales encargada de la recogida de los RSU de los municipios de la provincia.

Con las alternativas propuestas y los criterios identificados en el paso 2 se procede a la selección de los principales proveedores, el anexo 5 muestra los cálculos realizados mediante la utilización una página de cálculo editada para el fin planteado en el Microsoft Office Excel, 2010 y en la figura 3.4 se puede observar el resultado final de las sumas ponderadas ordenas para las variantes existentes.

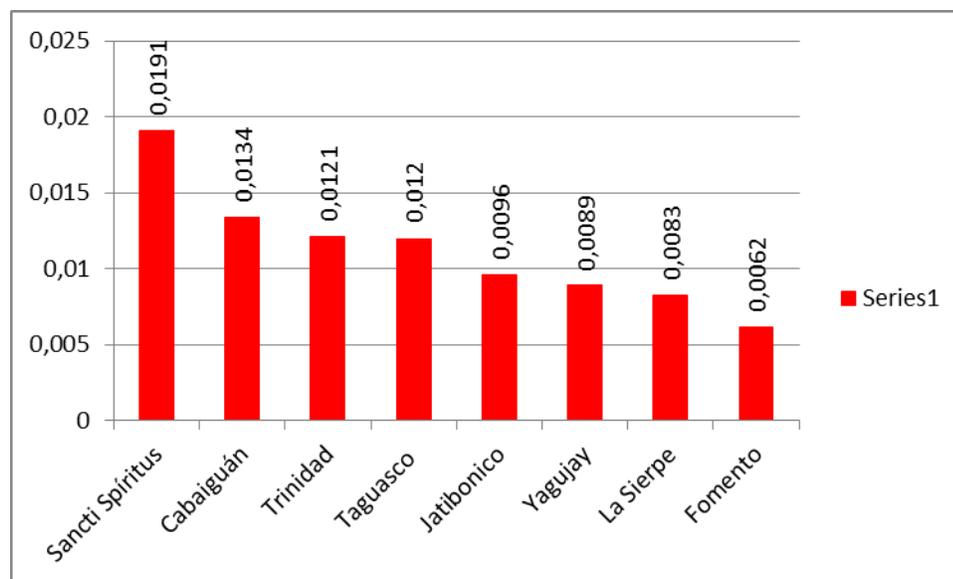


Figura 3.4. Valor de la suma ponderada para las alternativas de suministro. **Fuente:** elaboración propia.

Considerando los valores anteriores y aplicando Pareto nuevamente se obtienen las principales alternativas, la figura3.5 muestra el análisis.

Capítulo 3. Implementación del procedimiento seleccionado para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento para una planta de biogás en la UEB Central Azucarero “Melanio Hernández”

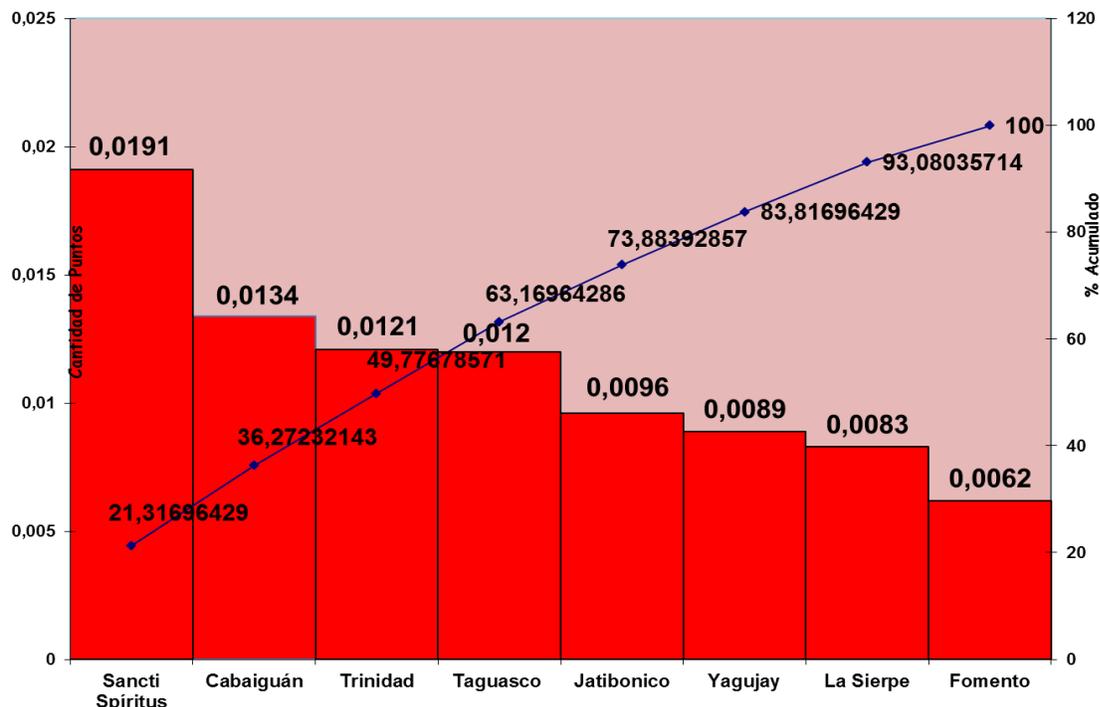


Figura 3.5. Selección de las alternativas de suministro para la planta de biogás objeto de estudio. **Fuente:** elaboración propia.

Como se observa en la figura 3.5 se representa la estratificación por Pareto para determinar las principales alternativas de suministro para la planta de biogás propuesta:

- Sancti Spíritus
- Cabaiguán
- Trinidad
- Taguasco
- Jatibonico

Paso 4: Representación de las fuentes de suministro de potenciales y ubicación en un Sistema de Información Geográfica (SIG)

En la en la figura 3.6 se puede observar la representación mediante el sistema de información geográfica propuesto, de las fuentes de suministro de potenciales de residuos orgánicos para producir biogás con fines energéticos .culminando de esta manera la presente fase.

Capítulo 3. Implementación del procedimiento seleccionado para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento para una planta de biogás en la UEB Central Azucarero “Melanio Hernández”

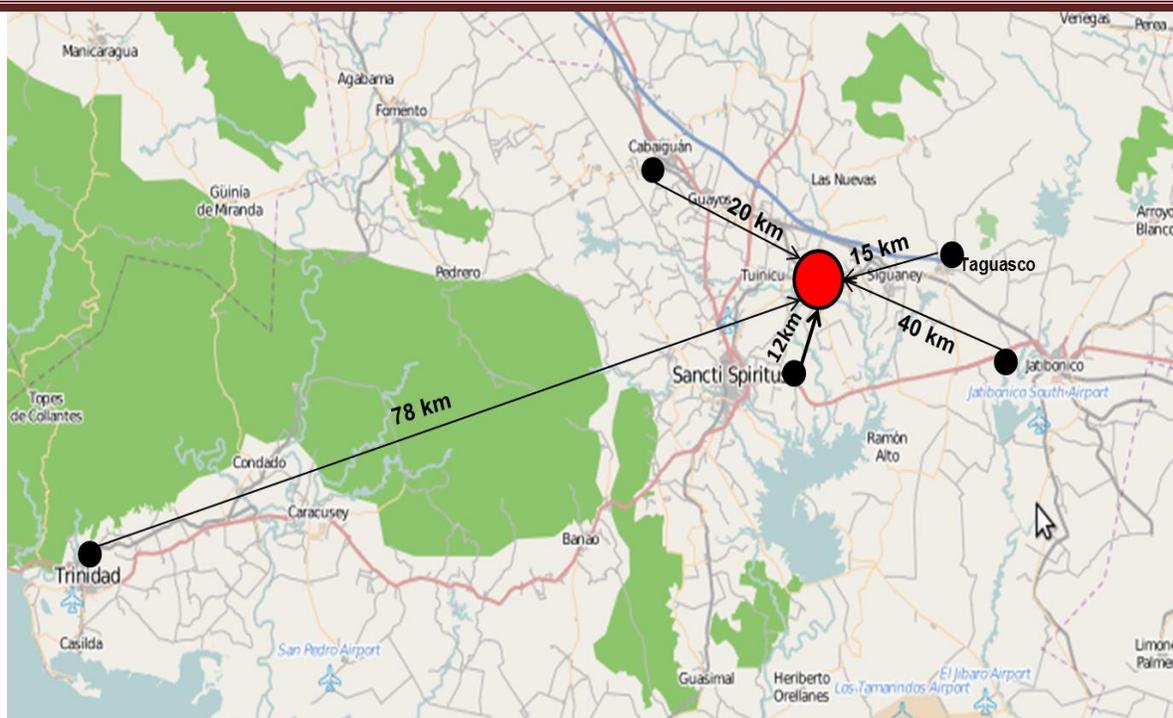


Figura 3.6. Representación de geográfica de las fuentes de suministro. **Fuente:** elaboración propia.

3.3. Introducir los datos y definir los parámetros del algoritmo e interpretar los resultados

Cumplimentando el objetivo general de la presente investigación una vez determinados los factores implicados se procede a la determinación de la ruta factible para el aprovisionamiento de la planta de biogás caso de estudio, para lo cual se implementa el procedimiento específico representado en la figura 2.4, los resultados se detallan a continuación.

Paso 1 Recopilación de la información

Se inicia con la recopilación de la información, provista por la dirección provincial de servicios comunales, con datos generales sobre el manejo de los residuos sólidos en la ciudad, los cuales incluyen normas internacionales y nacionales para el almacenamiento, recolección, transporte y disposición final de los mismos (resaltando que estas normas se acatan en todos los aspectos tratados en esta investigación), proporcionando datos específicos del parque automotor con el que cuenta la empresa para poder satisfacer la demanda existente. La tabla 3.7 refiere dicha información.

Capítulo 3. Implementación del procedimiento seleccionado para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento para una planta de biogás en la UEB Central Azucarero “Melanio Hernández”

Tabla 3.7. Parque automotor de la empresa disponible para la trasportación del sustrato

Tipo de vehículo	Cantidad	Capacidad m ³	Consumo de combustible Km/l de diesel
Camión compactador Fiat IVECO	8	30	5
Camión compactador Chino	3	28	4
Camión Zil 131	7	4	3
Camión MG 500	3	6	5
Tractor Yunz 6M	6	6	4

Fuente: elaboración propia.

La ubicación del taller se encuentra cercana a la zonas de recogidas, el lugar del parqueo de los vehículos recolectores se encuentra a una distancia de 2.5 km. de la zona de recolección, las vías en general presentan un relieve plano, con pendientes críticas en los municipios de Fomento, Trinidad y Yaguajay, aptas para realizar la recolección, se propone considerando que la demanda promedio mensual de la planta es de 18242,80 Kg, lo que representa un aproximado diario de 608,09 kg, que la recolección se realice a la misma hora; una vez al mes, y utilizando para ello un solo medio de transporte, se asignan 1200L mensual de combustible diesel, con un costo de 0.50 de CUC el litro.

Características del sustrato a transportar: el sustrato a transportar es solidos de diferentes dimensiones, pesos y volumen irregular. Sin necesidad de condiciones especiales para la transportación, sin riesgos medioambientales, con largo periodo de descomposición, puede ser almacenado a la intemperie.

Los horarios de mayor congestión de tránsito se localizan entre las 6:30 y las 8:00 am y de 5:00 a las 7. 00 Pm. el sentido de circulación de las calles no es factor significativo en la determinación de la ruta, en la tabla 3.8 se representa la distancia entre la planta y los proveedores.

Tabla 3.8. Distancia entre la planta y los proveedores.

Proveedor	Distancia a la planta en Km
Sancti Spíritus	12
Cabaiguán	20
Trinidad	78
Taguasco	15

Capítulo 3. Implementación del procedimiento seleccionado para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento para una planta de biogás en la UEB Central Azucarero “Melanio Hernández”

Jatibonico	40
------------	----

Fuente: elaboración propia.

Paso 2. Preparación de un mapa de la ciudad a escala 1 :10 000

Para la preparación del mapa de ciudad, se utilizan software destinados a la actividad para lograr obtener una representación a escala de la zona de trabajo. En la presente investigación el mismo se encuentra visualizado en el paso 4 de la etapa 3.2.

Paso 3. Realizar los esquemas típicos de las rutas de recolección

Hay diversas formas para realizar los esquemas típicos de las rutas de recolección, de forma manual siguiendo los señalamientos orientados en las reglas para el diseño de rutas, el uso de métodos heurísticos y desarrollando algoritmos matemáticos en software especializados, precisamente esta última herramienta es la utilizada para obtener la ruta factible con la menor distancia a recorrer por el vehículo recolector, en la solución se empleó el Software WinQSB, específicamente el Algoritmo del Agente Viajero (traveling salesman problem), considerando las distancias entre los diferentes puntos a recolectar, estableciendo secuencias de recorrido.

Para facilitar el diseño se tomó como referencia nodos estratégicos, para el camión recolector, como se indica en la tabla 3.9 donde se muestra la ubicación de los nodos y la tabla 3.10 la distancia entre ellos.

Tabla 3.9. Ubicación de los nodos utilizados para el diseño de la ruta de aprovisionamiento de sustrato.

Nodo	Ubicación
Nodo 1 Tuinucú	Bartolomé Masó
Nodo 2 Cabaiguán	Carretera Cabaiguán Ave. Camilo Cienfuegos
Nodo 3 Trinidad	Bartolomé Masó Circunvalación Trinidad
Nodo 4 Taguasco	X Norte # 2
Nodo 5 Jatibonico	Carretera a Jatibonico calle Maceo
Nodo 6 Sancti Spíritus	Parque Serafín Sánchez

Fuente: elaboración propia.

Capítulo 3. Implementación del procedimiento seleccionado para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento para una planta de biogás en la UEB Central Azucarero “Melanio Hernández”

Tabla 3.10. Distancia (m) entre los nodos

	Nodo A	Nodo B	Nodo C	Nodo D	Nodo E	Nodo F
Nodo A		15	78	17	36	12
Nodo B	15		87	32	60	20
Nodo C	78	87		95	97	67
Nodo D	17	37	95		17	29
Nodo E	36	60	97	17		40
Nodo F	12	20	67	29	40	

Fuente: elaboración propia.

Una vez recogida la información se procede al cálculo de la ruta, los resultados de la salida del Software WinQSB, por diferentes métodos se observan en las tablas 3.11, 3.12, 3.13 y 3.14.

Tabla 3.11. Matriz distancia entre nodos

from/ to	Node1	Node2	Node3	Node4	Node5	Node6
node 1		20	67	29	30	12
node 2	20		87	35	50	20
node 3	67	87		96	97	78
node 4	29	35	96		17	15
node 5	30	50	97	17		40
node 6	12	20	78	15	40	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.12. Resultado por el método Nearest Neighbor Heuristic.

01-16-2015	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Node1	Node6	12	4	Node4	Node5	17
2	Node6	Node2	20	5	Node5	Node3	97
3	Node2	Node4	32	6	Node3	Node1	78
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost		256
	(Result	from	Nearest	Neighbor	Heuristic)		

Fuente: elaboración propia

Tabla 3.13. Resultado por el método Cheapest insertion heuristic.

01-16-2015	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Node1	Node2	15	4	Node3	Node5	97
2	Node2	Node6	20	5	Node5	Node4	17
3	Node6	Node3	67	6	Node4	Node1	17

Capítulo 3. Implementación del procedimiento seleccionado para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento para una planta de biogás en la UEB Central Azucarero “Melanio Hernández”

	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost		233
	(Result	from	Cheapest	Insertion	Heuristic)		

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.14. Resultado por el método Branch and Bound Method.

01-16-2015	From Node	Connect To	Distance/Cost		From Node	Connect To	Distance/Cost
1	Node1	Node2	15	4	Node3	Node5	97
2	Node2	Node6	20	5	Node5	Node4	17
3	Node6	Node3	67	6	Node4	Node1	17
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost		233
	(Result	from	Branch	and	Bound	Method)	

Fuente: elaboración propia.

Considerando el resumen de los resultados obtenidos utilizando los métodos de solución que brinda el software WinQSB, tabla 3.15 se obtiene como rutas factibles para el suministro de la planta de biogás, ubicada en la localidad de Tuinucú las variantes II y III, obtenida por el método Branch and Bound Method y Cheapest insertion heuristic mostradas en las figura 3.6.

Tabla 3.15. Resumen de los resultados obtenidos con el software WinQSB, para la determinación de la ruta factible

Modelo utilizado	Ruta factible	Distancia en Km
Nearest Neighbor Heuristic	Nodo1- Nodo6- Nodo2 – Nodo4- Nodo5- Nodo3 – Nodo1	256
Cheapest insertion heuristic	Nodo1- Nodo2- Nodo6 – Nodo3- Nodo5 - Nodo4 – Nodo1	233
Branch and Bound Method	Nodo1- Nodo2- Nodo6 – Nodo3- Nodo5 - Nodo4 – Nodo1	233

Fuente: elaboración propia.

Capítulo 3. Implementación del procedimiento seleccionado para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento para una planta de biogás en la UEB Central Azucarero “Melanio Hernández”

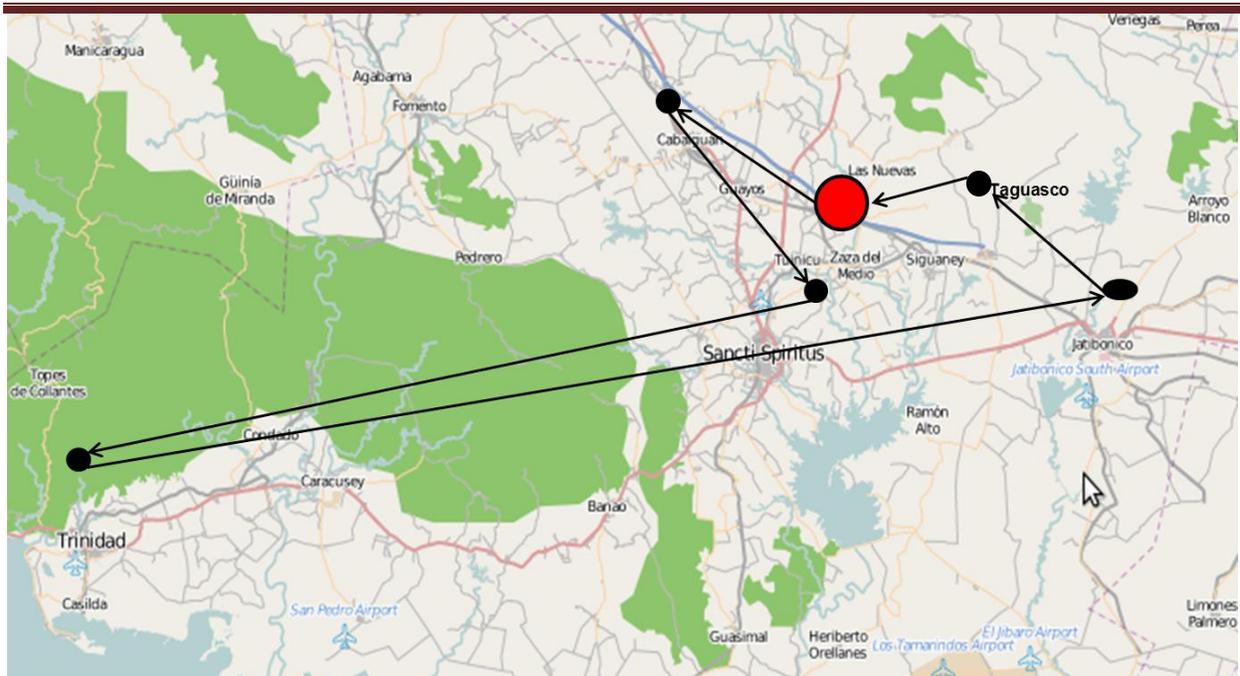


Figura 3.6. Ruta factible para el aprovisionamiento de la planta de biogás de la UEB Central Azucarero Melanio Hernández. **Fuente:** elaboración propia.

3.4 Fase 5: Implementación de las rutas

Para poder garantizar el funcionamiento estable y coordinado de la ruta propuesta se diseñó un programa de implementación mostrado en la figura 3.7 obtenido de la aplicación Microsoft Project, donde se puede visualizar las principales tareas a acometer y el tiempo de duración estimado, un programa de implementación.



Figura 3.7. Cronograma implementación de la ruta. **Fuente:** elaboración propia.

Seguimiento y control de las rutas

Para mantener el control sobre la ruta propuesta se sugiere la implementación de indicadores clásicos para la actividad para su evaluación de forma periódica. En la tabla

Capítulo 3. Implementación del procedimiento seleccionado para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento para una planta de biogás en la UEB Central Azucarero “Melanio Hernández”

3.16 se proponen una serie alguno de estos, los cuales pueden ser adaptados a las condiciones específicas de la marcha del proceso.

Tabla 3.16. Propuesta de indicadores para evaluar el proceso de transportación de los RSU.

Transporte	Tasa de utilización de la capacidad	Número de horas en uso / número total de horas de disponibilidad
	Tasa de utilización de la capacidad	Volumen utilizado / volumen disponible
	Tasa de Km. sin carga	
	Coste de transporte / valor transportado (a precio de compra)	Se puede detallar por transporte propio / subcontratado, por tipo de transporte...
	Número de Km., de horas en uso, de entregas por día ...	
	Evolución del coste vs. objetivos, presupuesto	
	Tiempo de espera por viaje, por camión...	
	Coste medio por ton, m3, m2...en recepción	Puede ser detallado a la zona de carga, al proveedor
Número medio de cargas por viaje	Puede ser detallado a la zona de descarga, al cliente ...	

Fuente: elaboración propia.

Si no existen desviaciones al controlar los indicadores entonces la ruta sigue funcionando de forma estable y coordinada. En caso de que se detecte alguna desviación se deben tomar las medidas para la eliminación de las mismas.

3.5 Conclusiones parciales

1. El procedimiento utilizado permite dar solución al problema científico de la investigación al obtenerse la ruta factible para el aprovisionamiento de una planta de biogás situada en la localidad de Tuinucú, ya que se logra una disminución en la distancia total recorrida equivalente. Esto contribuye a incrementar la eficiencia en la explotación de la misma.
2. Con la reutilización de los RSU como sustrato como fuente de energía renovable se contribuye a disminuir los efectos negativos provocados al medio ambiente en la provincia.

Conclusiones

1. El marco teórico-referencial de la investigación confirma la existencia de una amplia base conceptual sobre la explotación del biogás y métodos para incrementar la eficiencia del aprovisionamiento, sin embargo no se encontraron precedentes de la aplicación de herramientas metodológicas para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento en plantas de biogás.
2. El procedimiento seleccionado para la determinación de la ruta factible de aprovisionamiento para plantas de biogás, adaptado de Feíto Cespón, el cual a través de sus cinco etapas permite complementar el objetivo de la investigación.
3. La implementación del procedimiento propuesto en la planta de biogás ubicada en la UEB Central Azucarero “Melanio Hernández” permite identificar la ruta factible para el suministro del sustrato a la misma, además de la inserción de nuevas fuentes de sustratos al proceso que incrementan el potencial de explotación.

Recomendaciones

1. Difundir los resultados del estudio realizado a través de programas de divulgación de manera que se contribuya a establecer cambios objetivos en la gestión de aprovisionamiento para plantas de biogás.
2. Exhortar a las autoridades implicadas en el desarrollo económico y social del territorio a poner en práctica el proyecto derivado de la presente investigación.
3. Realizar investigación sobre el sistema de manejo de materiales a lo largo de todo el proceso de obtención de energía eléctrica por medio de fuentes renovables que contribuya a perfeccionar la explotación del mismo adecuado a las características del entorno nacional.

Bibliografía

1. Alonso S, Cordón O, Fernández de Viana I, Herrera F. La Metaheurística de Optimización Basada en Colonia de Hormigas: Modelos y Nuevos Enfoques. Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial, E.T.S. Ingeniería Informática. Granada. España. 2004.
2. Barán B, Almirón M. Colonia de Hormigas en un Ambiente Paralelo Asíncrono. Universidad Nacional de Asunción Centro Nacional de Computación San Lorenzo. Paraguay. 2002.
3. Blanchard, B. (1995) Ingeniería Logística ISDEFE. Madrid. Consultado en febrero de 2010 en: <http://www.isdefe.es>.
4. Blanchard, B. (1998). Logistics Engineering and Management Fifth Edition. Prentice Hall. New Jersey.
5. Ballou, H.R.; La logística empresarial, Control y Planificación Ediciones Díaz Santos, Madrid, 1991.
6. Barcos L, Rodríguez V.M, Álvarez M.J, Robusté F. Algoritmo basado en la optimización mediante colonias de hormigas para la resolución del problema del transporte de carga desde varios orígenes a varios destinos. Santander. España. 2002.
7. Bullnheimer B, Kotsis G, Strauss C. Parallelization Strategies for the Ant System. Reporte Técnico POM 9/97. Universidad de Viena. Viena –Austria. 1997.
8. Brinkman, J. (1999). Anaerobic digestion of mixed waste slurries from
9. kitchens, slaughterhouses and meat processing industries. Proceedings of the International symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste. Barcelona, Junio de 1999, pp. 190-191.
10. Carrazana D. Diagnóstico y Diseño del Sistema Logístico de la Sucursal CIMEX Granma. Tesis para optar por el Título Académico de Master en Dirección, 2003.
11. CEL (1993). Diccionario de términos y definiciones logísticas. Centro Español de logística .En <http://www.cellogistica.org/articulos.html>.
12. CLM; CLM Toolbox , Editor Council of Logistics Management, 2003.

13. Cespón Castro, R & Auxiliadora, Maria. (2003). Administración de la cadena de suministros. Manual para estudiantes de la especialidad de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica Centroamericana de Honduras. UNITEC. Tegucigalpa.
14. Comas Pullés, R. (1996). Logística, origen, desarrollo y análisis sistémico Logística Aplicada No 1. pp.3-9. Ciudad de la Habana.
15. Clarkston (2000) Supply Chain Management Primer. <http://www.claoup.com>.
16. Colectivo de Autores. Manual de logística para la distribución comercial Editorial Market Comunicación S.A. Madrid, 2000.
17. Contreras Velásquez (2006). "Producción de biogás con fines energéticos de lo histórico a lo Estratégico". Publicado en Revista Futuros No.16, Vol. IV Consultado abril 2009 en <http://www.revistafuturos.info>.
18. Christopher, M. L. (1998). Supply Chain Strategy: Its Impact on Shareholder Value. The International Journal of Logistics Management. Vol 10. Nro. 1. pp.110.
19. Christopher M. Business Logistics. Cranfield School of Management. Managing International Distribution. Cranfield 1972.
20. Dorigo M, Gambardella L. A study of some properties of Ant-Q. IV International Conference on Parallel Problem from Nature, Berlin –Alemania: Springer-Verlag, pg. 656-665, 1996.
21. Dorigo M, Gambardella L. Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem. IEEE Transaction on Evolutionary Computation. Vol. 1, No.1, pg. 53-66, 1997.
22. Florencio L. J. A. Field and G, 1997. Lettinga. High -rate anaerobic treatment of alcoholic wastewaters. Braz. J. Chem. Eng. vol. 14 no. 4 São Paulo Dec. 1997.
23. Gómez Acosta, Marta Inés y Acevedo Suárez, J. A (2001). Logística moderna y la competitividad empresarial. Ed. Centro de Estudio Tecnología de Avanzada (CETA) y Laboratorio de Logística y Gestión de la Producción (LOGESPRO). Ciudad de La Habana.
24. Gambino Antonio, (2000)(SF)"LA LOGISTICA HOY"
, http://www.iua.edu.ar/la_loistica_hoy.htm.
25. Garey M. R, Jonson D.S. Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness. Freeman. San Francisco. 1979.

26. Greenpeace (2009). Organización ambientalista conocida por sus actividades.
27. Incluye información sobre proyectos, problemáticas actuales y medio ambiente. "Energías renovables". Consultado abril 2009
<http://www.greenpeace.org/mexico/campaigns/energ-a-y-cambioclimatico/energias-renovables>.
28. Indicadores socioeconómicos de Cuba (2003). Revista Panorama Económico y Social de Cuba. Sitio web:
www.medioambiente.cu/download/2003/Indicadores%20socioecon%3amicos.pdf
29. Jewel W. J. 1987. Anaerobic sewage treatment.
30. Knudsen González, J (2005). Diseño y gestión de la cadena de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar. Aplicados a los residuos agroindustriales cañeros, el bagazo y las mieles. Universidad Central Marta
31. Abreu de las Villas. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Santa Clara.
32. López González; Lisbet M., Contreras Luz Maria; Romero Osvaldo, Orlando de la Cruz Rivadeneira; Ernesto Barrera (2005) "Estimación de la producción de biogás con fines energéticos en la provincia Sancti Spíritus" Evento Internacional "Entorno Agrario" Centro Universitario José Martí Pérez Sancti Spíritus.
33. López, E. (2006). Estudio de las potencialidades de residuos orgánicos con fines energéticos.-Tesis para optar por el título de Ingeniero Industrial en el CUSS.
34. Luis Rico J, 2007. "La generación del biogás y los residuos ".Departamento de Ingeniería Química y Química Inorgánica de la Universidad de Cantabria (UC)
35. López González, Contreras Velásquez; Romero Romero, (2005). "Estimación de la producción de biogás con fines energéticos en la provincia Sancti Spíritus".
36. Evento Internacional "Entorno Agrario" Centro Universitario José Martí Pérez Sancti Spíritus.
37. Matos Rodríguez, H. (1997). Modelo para el diseño y mejoramiento del sistema de reciclaje de residuos de envases en zonas turísticas. Universidad Camilo Cienfuegos de Matanzas. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias técnicas.
38. Paciello J. M, Martínez H. D, Lezcano Ch. G, Barán B. Algoritmos de

39. Optimización multi-objetivos basados en colonias de hormigas.
40. Universidad Nacional de Asunción, Facultad Politécnica San Lorenzo. Paraguay. 2006.
41. Ramos Gómez, R. (2003). Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias Técnicas. Procedimiento para la mejora continua y el perfeccionamiento del sistema de planificación y control del servicio de reparación de motores. Abreu de Las Villas. Santa Clara. Trabajo de Diploma.
42. Reinelt G.TSP, <http://www.iwr.uniheidelberg.de/groups/comopt/>
43. Software/TSPLIB95/TSPLIB.html. Universität Heidelberg, Institut für Angewandte Mathematik, Alemania.2000.
44. Romero Romero (1997). Evaluación técnico económica de diferentes variantes para cogenerar en un central con destilería anexa Tesis para optar por el grado científico de Master en Ciencias en eficiencia energética y Diseño térmico. Universidad de Cienfuegos.
45. Romero, C. (1993). Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones. Editorial Alianza, Madrid, España.
46. Romero Romero (2005) “Metodología para incrementar el aporte de electricidad con bagazo y alternativa de combustible para generar fuera de zafra”. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias. UCLV.
47. Stützle T. Parallelization Strategies for Ant Colony Optimization. Proc. Of Parallel Problem Solving from Nature – PPSN-V, Springer Verlag, Vol. 1498, pg. 722-731, 1998.
48. Schidell W. J., 1986. Anaerobic digestion of municipal solid wastes.
49. Torres Gemeil, M.et al. (2003/b/). Introducción a la logística de distribución.
50. Monografía editada por la Universidad de Pinar del Rio.
51. Weiland, P. (2003). One and two step anaerobic digestion of solid agroindustrial residues. Water Science and Technology.
52. Werner, U.(1989) U.Stohr and N. hees. Biogas Plants in Animal Husbandry. – Germany: Vieweg & Sonh.
53. Velarde Sosa (2004). “Producción y Aplicación de compost”.

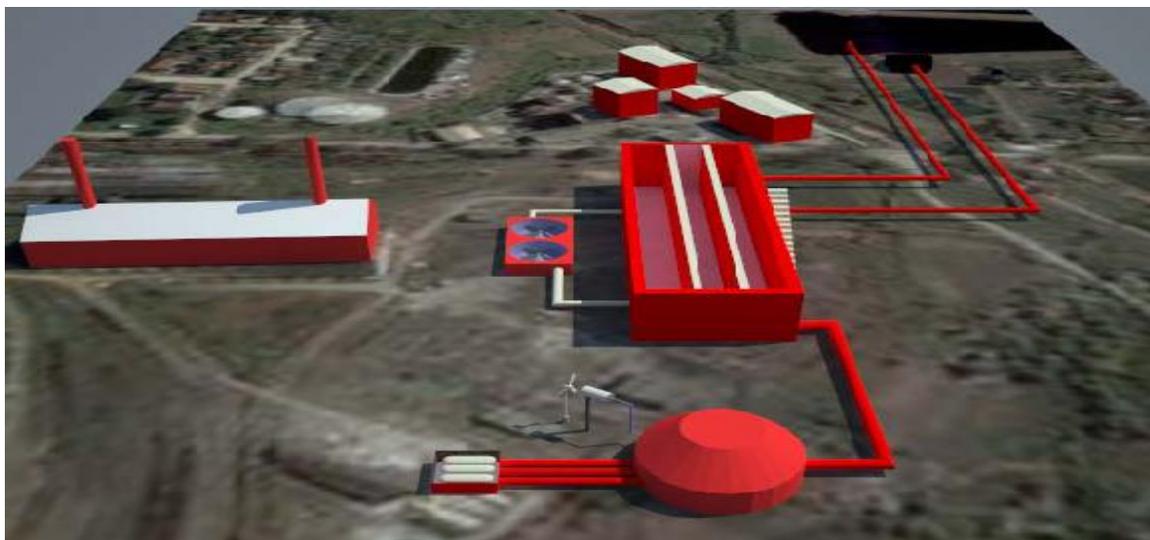
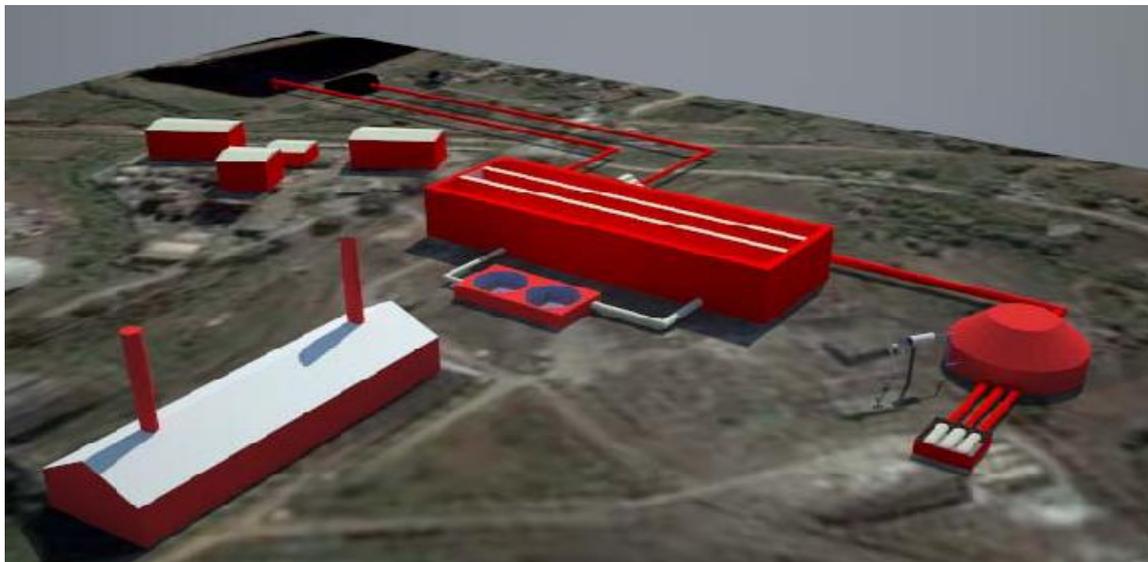
54. Gaitán Mesa, Fabio Alexander (2006). Diseño y gestión de las rutas para la recolección de residuos sólidos urbanos en la ciudad Santa Clara. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara, Trabajo de diploma.
55. SEDESOL (1997). Manual para el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos municipales. México, D.F. En http://www.bajacalifornia.gob.mx/ecología/servicios/residuos_solidos/manual_rutasres_solmunicipales.pdf [acceso 14/abril/2007].

Anexo 1. Disponibilidades de residuos existentes y estimados de la cantidad de biogás que se puede obtener

Suministros	Fuentes	Potencial t/año	m3 Biogás/año
Excretas porcinas	Cebadero II + Integral) Porcino Cacahual	13554,79	1280385,09
	UEB Porcino Carbón	12929,61	1221330,65
	Centro Genético Porcino	8559,58	808538,13
	UEB Porcino Boquerones	4818,00	455108,28
	UEB Porcino Venegas	4680,17	442088,56
	UEB Porcino Los Molinos	3334,06	314934,93
	UEB Porcino Tamarindo	2807,40	265186,94
Cachaza	<i>Uruguay. Melanio</i>	<i>25520,80</i>	<i>3919994,88</i>
Vinaza+ Agua Resid	Melanio	160740,00	3214800,00
Residuos de Secadero Cáscara, Paja	Secaderos	9099,66	303382,66
	Molinos	10718,46	357353,46
	Cosecha	1326,78	44234,85
	,		179258,94
Agua Res Industrial Lácteo	Lácteo	223003,26	179258,94
Agua Res Industrial Cárnico	Cárnico	39228,99	676069,28
Agua Res Industrial Conservas	Conservas	41293,67	396102,10
Pulpa de Café	Despulpadoras	170,02	18668,69
Palo y vena de tabaco	Escogidas, Despalillo y Palo y vena de tabaco Fáb torcido	2304,02	927780,86
RSU	Todos los municipios	2611,78	2005844,19
Total		578789,85	18687902,17

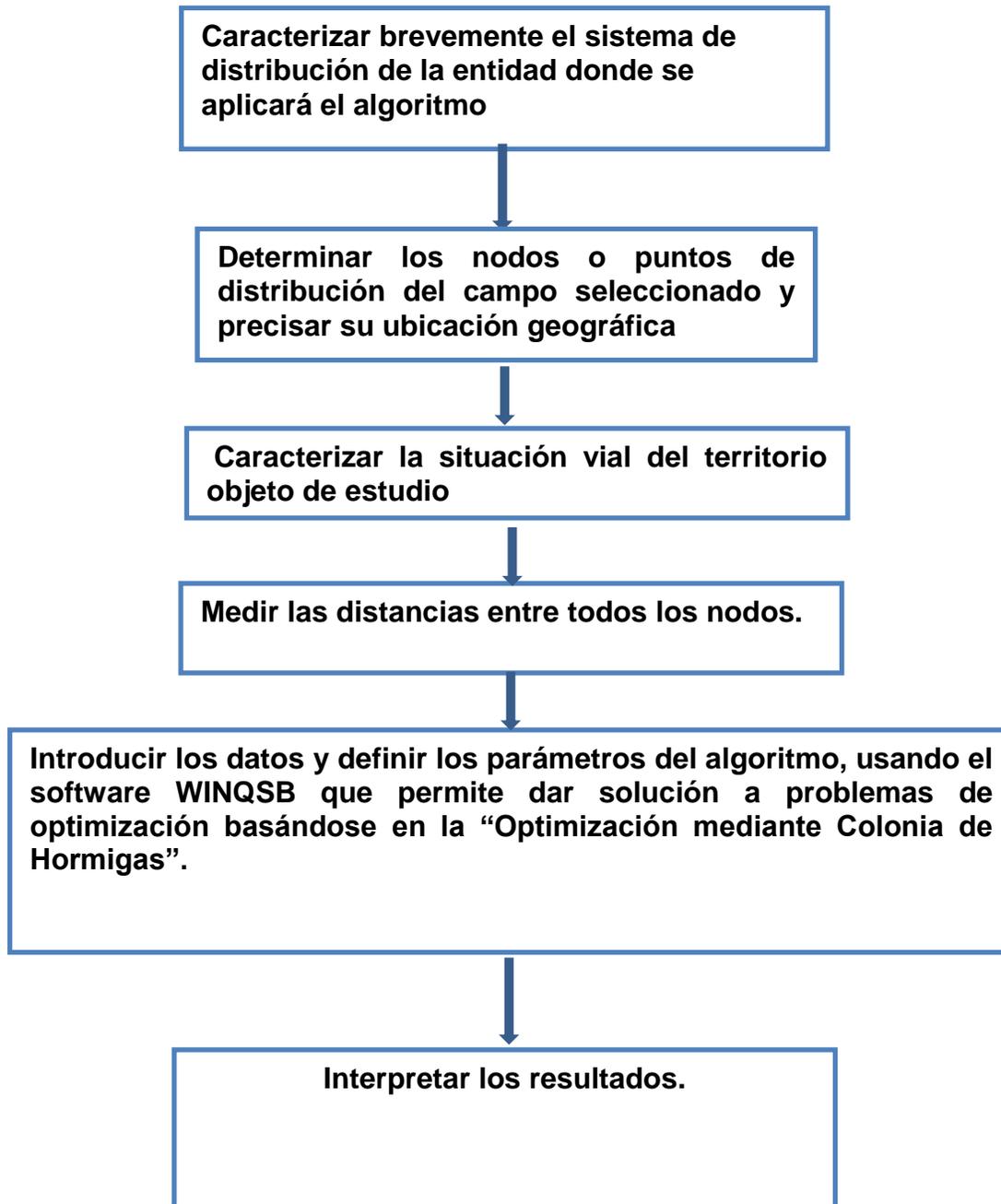
Fuente: Oria Gómez, 2010

Anexo 2. Distribución en planta final de la instalación de biogás.



Fuente: Elaboración propia en Sketchup

Anexo-3 Procedimiento para determinar la ruta optima de aprovisionamiento



Fuente: Feíto Cespón, 2006

Anexo 4 Parámetros de explotación para motores de generación de diferentes potencias.

Gas-Otto-Motoren-Palette

Typ	Einheit	GS R6 104 TLWK	GS R6 150 TLW	GS R6 170 TLW	GS R6 190 TLWK	GS V8 255 TLWK	GS V12 366 TLWK	GS V8 C 400 TLWK	GS V12 C 600 TLWK	GS V16 C 800 TLWK	GS V12 1021 TLWK
Elektrische Leistung	[kW]	104	150	170	190	255	366	400	600	800	1021
Thermische Leistung max.	[kW]	108	171	180	202	290	408	370	570	760	950
Zylinder	[]	R6	R6	R6	R6	V8	V12	V8	V12	V16	V12
Hubraum	[L]	6,8	12,8	12,8	12,8	14,6	21,9	17,5	26,3	35,0	53,1
Wirkungsgrad el.	[%]	38,2	37,4	38,5	38,5	38,7	39,3	42,5	42,5	42,5	41,0
Gewicht Motor + Generator	[kg]	1500	2300	2300	2300	2450	3100	4500	5700	6670	10760
Drehzahl	[1/min]	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Nennstrom	[A]	151	217	245	274	368	498	590	774	1032	1475
Verbrauch bei 6,5 kW	[Nm³/h]	42	62	68	76	102	144	145	217	290	383
Feuerungswärmeleistung	[kW]	272	400	442	493	659	932	941	1413	1882	2490
Stromkennzahl	[]	0,96	0,88	0,94	0,94	0,88	0,90	1,08	1,05	1,05	1,07

Normbezugsbedingungen nach DIN ISO 3046 (Luftdruck 1000 mbar, Lufttemperatur 298 K, Luftfeuchte 30%).

Leistungsdaten für Biogas HU = 6,0 - 6,5 kWh/Nm³, je nach Aggregat.

Leistungsdaten für andere Gasarten auf Anfrage bei Dreyer & Bosse. Bauausführungsbedingt können Daten abweichen.

Kühlwasser- und Schmierölqualität nach Vorgaben des Motorenherstellers.

Andere Leistungsgrößen auf Anfrage erhältlich.

Wirkungsgradangaben unterliegen aufgrund von Messabweichungen, schwankenden Rahmenbedingungen und Schwankungen in der Brennstoffbeschaffenheit einer Toleranz von bis zu 5%.

In BHKW-Anlagen sind Nutzungsgrade von bis zu 90% bezogen auf die Primärenergie erreichbar. Welche Wärmemenge im Einzelnen genutzt werden kann, hängt von der technischen Konzeption des Gesamtsystems ab.



**Dreyer & Bosse
Kraftwerke GmbH**
Streßfeld 1
29475 Gorleben

Fon: 05882.9872-0
Fax: 05882.9872-20
www.dreyer-bosse.de



Anexo 5. Resultados de los cálculos para la determinación del orden de prioridad a las alternativas de suministro.

Matriz de impacto (Eij)					
	C1	C2	C3	C4	Total
A1	671673,59	12	0,87	4	671690,46
A2	463601,21	78	0,8	4	463684,01
A3	329789,6	20	0,92	4	329814,52
A4	221256,2	15	0,83	2	221274,03
A5	323571,22	40	0,85	2	323614,07
A6	125546,7	54	0,88	3	125604,58
A7	120758,9	56	0,87	1	120816,77
A8	355582,58	72	0,9	2	355657,48
Total	2611780	347	6,92	22	

Matriz homogénea (Hij)					
	C1	C2	C3	C4	Total
A1	671.673,5900	0,0833	1,1494	4,0000	671.678,8228
A2	463.601,2100	0,0128	1,2500	4,0000	463.606,4728
A3	329.789,6000	0,0500	1,0870	4,0000	329.794,7370
A4	221.256,2000	0,0667	1,2048	2,0000	221.259,4715
A5	323.571,2200	0,0250	1,1765	2,0000	323.574,4215
A6	125.546,7000	0,0185	1,1364	3,0000	125.550,8549
A7	120.758,9000	0,0179	1,1494	1,0000	120.761,0673
A8	355.582,5800	0,0139	1,1111	2,0000	355.585,7050
Total	2.611.780,0000	0,2881	9,2646	22,0000	
Criterio	Max	min	Max	Max	

Matriz normalizada (Nij)					
	C1	C2	C3	C4	Total
A1	0,2572	0,2893	0,1241	0,1818	0,8523
A2	0,1775	0,0445	0,1349	0,1818	0,5387
A3	0,1263	0,1736	0,1173	0,1818	0,5990
A4	0,0847	0,2314	0,1300	0,0909	0,5371
A5	0,1239	0,0868	0,1270	0,0909	0,4286
A6	0,0481	0,0643	0,1227	0,1364	0,3714
A7	0,0462	0,0620	0,1241	0,0455	0,2777

Anexo 5. (Continuación...)

Calculo de la Entropía					
Ej	C1	C2	C3	C4	
	0,7363	0,7350	0,7527	0,7875	
Criterio de Diversidad					
Dj	C1	C2	C3	C4	
	0,2637	0,2650	0,2473	0,2125	0,9884
Peso específico de cada criterio					
	C1	C2	C3	C4	
Wobj.	0,2668	0,2681	0,2502	0,2150	1,0000
Wsub.	0,0200	0,1000	0,4700	0,4100	1,0000
Wobj. X Wsub.	0,0053	0,0268	0,1176	0,0882	0,2379
Wj	0,0224	0,1127	0,4943	0,3706	1,0000

Peso específico de cada criterio					
	C1	C2	C3	C4	
Wobj.	0,2668	0,2681	0,2502	0,2150	1,0000
Wsub.	0,0200	0,1000	0,4700	0,4100	1,0000
Wobj. X Wsub.	0,0053	0,0268	0,1176	0,0882	0,2379
Wj	0,0224	0,1127	0,4943	0,3706	1,0000

Matriz de las sumas ponderadas					
	C1	C2	C3	C4	Total
A1	0,005768481	0,006488402	0,002782884	0,00407828	0,0191
A2	0,003981509	0,000998216	0,003026387	0,00407828	0,0121
A3	0,002832306	0,003893041	0,002631641	0,00407828	0,0134
A4	0,001900197	0,005190722	0,002916999	0,00203914	0,0120
A5	0,002778901	0,001946521	0,002848364	0,00203914	0,0096
A6	0,001078223	0,001441867	0,002751261	0,00305871	0,0083
A7	0,001037104	0,001390372	0,002782884	0,00101957	0,0062
A8	0,003053821	0,0010814	0,002690122	0,00203914	0,0089

Fuente: elaboración propia.